PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 18. 15. September 1906. 7. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 19 am 20. September 1906.

INHALT.

Originalmitteilungen:

H. Mache u. T. Rimmer, Über die in der Atmosphäre enthaltenen Zerfallsprodukte des Radiums. S. 617.

G. A. Blanc, Untersuchungen über ein neues Element mit den radioaktiven Eigenschaften des Thors. S. 620.

B. Kučera u. B. Mašek, Über die Strahlung des Radiotellurs. II. S. 630.

E. F. Nichols, Die Möglichkeit einer durch zentrifugale Beschleunigung erzeugten elektromotorischen Kraft. S. 640.

K. E. F. Schmidt, Beiträge zur Kenntnis des Barretters. S. 642.

A. Schwarz, Notiz über einen elektrischen Ofen. S. 644.

C. Schall, Über die Zähigkeit von unterkühlten Lösungen in Thymol. S. 645.

Berichtigung. S. 648.

Briefkasten. S. 648.

Personalien. S. 648.

Gesuche. S. 648.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Über die in der Atmosphäre enthaltenen Zerfallsprodukte des Radiums.

Von Heinrich Mache und Travis Rimmer.

Im Sinne der jetzigen Anschauungen über die Ursachen der Leitfähigkeit der Atmosphäre erscheint es geboten, die in der Luft vorhandenen Zerfallsprodukte des Radiums quantitativ zu bestimmen. Man wird durch den Vergleich ihrer ionisierenden Wirkung mit dem in der Atmosphäre tatsächlich vorhandenen Ionisierungsgrad entscheiden können, inwieweit die durch Diffussionsprozesse und Luftdruckschwankungen aus den oberen Teilen der Erdrinde in die Atmosphäre gelangende Radiumemanation und deren Zerfallsprodukte als die maßgebenden Ionisatoren der Freiluft angesehen werden dürfen.

Es handelt sich also in erster Linie darum, den Gehalt der Atmosphäre an Emanation und an radioaktiver Induktion direkt und quantitativ zu bestimmen. Die im folgenden im Auszug mitgeteilten Versuche wurden mit der Absicht unternommen, einen Weg zur einwandfreien und bequemen Messung dieser beiden Größen aufzufinden.

Was die Bestimmung des Emanationsgehaltes anbelangt, so haben wir sie vorderhand nur an der emanationsreicheren Kellerluft vorgenommen. Doch wird das Verfahren, bei entsprechend größerer Dimensionierung der Apparate sich auch für Freiluft verwenden lassen. Die Methode war die folgende:

Ein aus starkem Zinkblech gearbeitetes, etwa 70 Liter fassendes zylindrisches Gefäß, trägt oben in einer passend mit Fenstern versehenen Kammer ein Elektroskop mit Lupenablesung, auf dessen Blättchenträger als Elektrode ein entsprechend gebogener Draht eingesetzt ist, der bis nahe an den Boden des Gefäßes hinabreicht. Eine von außen betriebene Vorrichtung ermöglicht das Laden des Elektroskopes. Ist das Gefäß mit Kellerluft gefüllt und abgedichtet, so wird zunächst der Sättigungsstrom gemessen und dann das abgegrenzte Luftquantum vermittels eines Kautschukgebläses größter Nummer in heftigem Blasenstrome immer von neuem durch eine 10 Liter Petroleum enthaltende Flasche getrieben. Dieses Petroleum ist vorher durch Durchpumpen in freier Luft mit dem Emanationsgehalt der letzteren ins Gleichgewicht gebracht worden.[1]) Wird nach etwa 20 Minuten langem Betriebe des Kautschukgebläses und nach dem Abfall der induzierten Aktivitäten zu dem dem verminderten Emanationsgehalte entsprechendem Werte wieder der Sättigungsstrom gemessen, so kann man vermittels dieser beiden Messungen den Emanationsgehalt der Kellerluft mit dem der Freiluft vergleichen. Ist V das Volumen der im Gefäße abgegrenzten Luft, v das Volumen des Petroleums, α der Absorptionskoeffizient des Petroleums für Radiumemanation bei der betreffenden Temperatur[2]), ε der Emanationsgehalt der Freiluft und $\mathfrak{E}$ der Emanationsgehalt der Luft im Gefäße nach dem Pumpen, so ist der Emanationsgehalt der Kellerluft

$$E = \varepsilon + \frac{(\alpha v + V)(E - \mathfrak{E})}{\alpha v}.$$

Es ist nämlich vor dem Durchpumpen im Meßraum die Emanationsmenge VE vorhanden, im Petroleum die Menge $\alpha v\varepsilon$; nach dem Pumpen beziehungsweise $V\mathfrak{E}$ und $\alpha v\mathfrak{E}$. Da der gesamte im Kreis vorhandene Emanationsgehalt konstant bleibt, so gilt die Gleichung

1) Würde es sich darum handeln, nach diesem Verfahren den Emanationsgehalt der Atmosphäre selbst zu bestimmen, so müßte natürlich das Petroleum durch Auskochen völlig emanationsfrei gemacht werden. Man wird da aus verschiedenen Gründen Toluol vorziehen. Es sei erwähnt, daß Versuche, bei denen das Petroleum durch Holzkohlenpulver ersetzt wurde, keine quantitativ brauchbaren Resultate ergaben.

2) Unter diesem Absorptionskoeffizienten versteht man nach Himstedt und v. Traubenberg die Zahl, welche angibt, wie oft der Emanationsgehalt der Luft in gleichem Volumen Flüssigkeit für den Fall des Gleichgewichtes enthalten ist. Für Petroleum hat dieser Koeffizient für die Temperaturen 3, 20, 40° beziehungsweise die Werte 12,87, 9,55, 8,13. Vgl. R. Hofmann, diese Zeitschr. **6**, 337, 1905.

$$VE + av\varepsilon = V\mathfrak{E} + av\mathfrak{E},$$

aus der sich die obige Beziehung herleiten läßt. E und $\mathfrak{E}$ sind den beiden vor und nach dem Durchpumpen erhaltenen Werten des Sättigungsstromes proportional. ε konnte in unserem Falle gegen E vernachlässigt werden.

Auf diese Weise ergaben sich in einer in einem innerhalb Wiens gelegenen Keller ausgeführten, etwa 14tägigen Beobachtungsreihe die folgenden in der dritten Kolumne der untenstehenden Tabelle angeführten Werte für den Emanationsgehalt eines Kubikmeters Kellerluft, ausgedrückt in elektrostatischen Einheiten. Die erste und zweite Kolumne enthält direkt die Werte des vor und nach dem Pumpen am Elektroskope beobachteten Potentialabfalles ausgedrückt in Volt/Minuten, die vorletzte den Barometerstand und die letzte die an einem Ebertschen Aspirator gemessene Ionenladung eines Zeichens pro Kubikmeter.

Tabelle.

Datum	Stunde	Volt/Minut. vor dem Pumpen	Volt/Minut. nach dem Pumpen	Emanationsgehalt pro cbm in E.S.E.	Barometerstand	Ionenladung pro cbm in E.S.E.
April 10.	3 p.	2,50	1,49	$2{,}34 \times 10^{-2}$	752,4	0,41
„ 11.	11 p.	2,93	1,54	3,22 „	52,5	—
„ 12.	$5^1/_2$ p.	3,94	1,72	5,15 „	49,5	—
„ 14.	mittags	4,20	1,82	5,51 „	47,3	0,53
„ 16.	1 p.	3,31	1,70	3,74 „	49,3	0,57
„ 17.	$12^1/_4$ p.	3,36	1,29	4,82 „	42,5	0,44
„ 18.	5 p.	2,96	1,29	3,90 „	33,0	0,55
„ 19.	3 p.	5,14	1,94	7,45 „	30,2	0,46
„ 20.	mittags	2,01	1,27	1,71 „	40,9	0,55
„ 21.	7 p.	2,03	1,20	1,92 „	47,0	0,43
„ 22.	4 p.	2,87	0,87	4,64 „	39,0	0,59
„ 23.	10 p.	2,83	0,84	4,62 „	42,0	0,53
„ 26.	$1^1/_2$ p.	1,91	0,42	3,47 „	43,4	0,34

Wie man sieht, ist der Emanationsgehalt das Spiegelbild des Barometerganges, wie dies ja auch schon indirekt für Höhlenluft aus den Zerstreuungsbeobachtungen von B. Zölß[1]) gefolgert wurde. Bemerkenswert ist, daß dieser Gang an den Messungsergebnissen des Ebertschen Aspirators nicht zum Ausdruck kommt. Es ist dies wohl dahin zu deuten, daß die Ionenzahlen gemäß der bekannten Gleichung $q - \alpha n^2 = 0$ der Quadratwurzel aus dem jeweilig vorhandenen Emanationsgehalt proportional sind und infolgedessen die Amplitude der Schwankung des Ionengehaltes gegenüber der des Emanationsgehaltes im voraus stark vermindert ist. Ferner werden auch die in Kellerluft erfahrungsgemäß[2]) besonders reichlich vertretenen Ionen geringer Beweglichkeit, die im Aspirator nicht abgefangen werden, durch ihren Ausfall die gesuchte Gesetzmäßigkeit verdecken.

Auf die Existenz derartiger Ionen deutet auch der Umstand hin, daß, wie aus dem Folgenden erhellt, die für die Ionenzahl erhaltenen Werte durchaus nicht mit der Stärke der wirksamen Ionisatoren im Einklang stehen. Die Wiedervereinigungskonstante α wurde in der Kellerluft nach dem von A. Schuster angegebenen Verfahren[1]) gemessen und betrug etwa $4{,}6 \cdot 10^{-6}$. Im Freien hatte diese Größe gleichzeitig Werte, die nur wenig um $2{,}1 \cdot 10^{-6}$ schwankten. Es sei erwähnt, daß es uns gelang, das Schustersche Verfahren dadurch nicht unwesentlich zu verbessern, daß wir als Ionisator nicht in Glas eingeschmolzenes Radium, sondern Polonium (Radium F) verwendeten, das auf elektrolytischem Wege aus einer Radiobleilösung auf einem Platindraht niedergeschlagen worden war. Der Draht wurde spiralförmig aufgerollt und senkrecht zur Achse in einem kurzen Röhrenstück montiert, das wieder an einem längeren Stab so befestigt war, daß die Spirale in dem von Schuster angegebenen Zusatzrohr des Ebertschen Apparates bequem an zwei bestimmte Stellen gebracht werden konnte. Die derartige Verwendung von Polonium hat gegenüber der von Radium den Vorteil, daß die Ionisierung gleichmäßiger erfolgt und daß die Störungen durch Sekundärstrahlen vermieden werden.

Sieht man nun selbst von der ionisierenden Wirkung der weiteren Zerfallsprodukte der Radiumemanation ab, desgleichen von der direkten von den Wänden und dem Boden des Kellers ausgehenden Becquerelstrahlung und der Strahlung eventuell vorhandener Radiothorprodukte, d. h. schreibt man die Ionisierung der Kellerluft nur der Anwesenheit von Radiumemanation zu, so müßte sie noch immer um vieles größer sein, als die beobachtete. Bei einem mittleren Emanationsgehalt von $4{,}04 \times 10^{-2}$ E.S.E. betrug die auf den Ionen eines Zeichens im Kubikmeter beobachtete Ladung im Mittel 0,49 E.S.E. Berechnet man hin-

1) Wien. Ber. **114**, 189 u. 1377, 1905.
2) Vgl. H. Knoll, Wien. Ber. **115**, 161, 1906.

1) Manchester Memoirs **48**, No. 12, 1904.

gegen diese Ionenladung aus dem Emanationsgehalt bei Einsetzung des in Kellerluft für die Wiedervereinigungskonstante α gefundenen Wertes, so erhält man hierfür 1,74 E.S.E. Allerdings wird auch die Ionenadsorption die Zahl der tatsächlich vorhandenen Ionen beträchtlich vermindern können.

Der Gehalt der Atmosphäre an radioaktiven Induktionen wurde nach einer direkten quantitativen und nach einer indirekten Methode gemessen. Das Instrumentarium zur direkten Messung bestand aus einem Ebertschen Aspirator größter Dimensionierung. Die Länge der Röhre betrug einen Meter, ihre Weite 16 cm. Durch diese Röhre wird mittels eines elektrisch betriebenen Ventilators die Luft mit einer Geschwindigkeit bis zu 2 m pro Sekunde getrieben, deren Konstanz an einem kleinen Anemometer geprüft und durch Regulierwiderstände erzielt werden kann. Auf dem Blättchenträger des Elektroskopes, das, um die Dauer der Messung zu verkürzen mit Mikroskopablesung eingerichtet ist, sitzt ein Stift, der — wie am Ebertschen Apparat — einen in der Achse der Röhre montierten Stab von etwa 3 dm Länge trägt. Wird das Elektroskop und damit der Stab auf zirka — 200 Volt geladen, so werden die in der aspirierten Luft enthaltenen positiv geladenen Induktionen durch das Feld auf dem Stab abgelagert, da ja nach den Messungen von H. Gerdien die Geschwindigkeit der Induktionsträger in der Atmosphäre für ein Feld von 1 Volt pro Zentimeter von 1 bis 10 cm/sec beträgt.[1])

Der Vorgang bei der Messung ist nun der folgende: Zunächst wird die Röhre an ihren beiden Enden durch Kappen geschlossen und in dem so von der Außenluft abgesperrten Raum der Sättigungsstrom gemessen. Dann wird durch etwa $^1/_2$ Stunde aspiriert und hierauf nach abermaligem Aufsetzen der Kappen wieder der Sättigungsstrom bestimmt. Aus der Differenz beider Werte läßt sich bei bekannter Kapazität und Fördermenge der Anordnung die ionisierende Wirkung der etwa im Kubikmeter Luft enthaltenen Induktionen ersichtlich bestimmen und so ein Maß für den Induktionsgehalt der Atmosphäre gewinnen. Herr stud. phil. F. Kohlrausch hat bereits eine größere Reihe derartiger Messungen auf einer Landstation ausgeführt und wird demnächst deren Ergebnisse an anderer Stelle ausführlich mitteilen. Hier sei nur erwähnt, daß sich aus diesen Messungen die ionisierende Wirkung der im Kubikmeter Luft enthaltenen Induktionen zu etwa 10^{-5} E.S.E. ergeben hat, d. h. so groß ist der Sättigungsstrom, den die im Kubikmeter Freiluft vorhandenen Induktionen zu unterhalten vermögen. Diese Zahl ist beträchtlich kleiner als man nach den bisherigen Messungen des Emanationsgehaltes der freien Atmosphäre[1]) erwarten sollte. Es mag dies entweder darin begründet sein, daß die Induktionen bei mit der Höhe abnehmendem Feld vorzüglich aus den unteren Partien der Atmosphäre beständig gegen den Boden getrieben werden, oder darin, daß sie sich ähnlich wie die Ionen zum großen Teil mit Staub und Wasserkernen beschweren und nun, ohne abgefangen zu werden, den Aspirator durchfliegen.

Werden in dem eben auseinandergesetzten Verfahren hauptsächlich die α-Strahlen, deren ionisierende Wirkung ja die ausschlaggebende ist, zur quantitativen Messung der Induktion verwendet, so sollen im folgenden noch einige Messungen angeführt werden, bei denen es sich offenbar hauptsächlich um die γ-Strahlung der in der Luft suspendierten Induktionen (Radium *C*) handelt.

Es haben Mc Lennan und Burton, später Wood und Campbell anläßlich der Untersuchung der spezifischen Eigenstrahlung der Metalle darauf hingewiesen, daß die Ionisierung in abgeschlossenen Räumen nicht allein durch radioaktive Eigenschaften der Gefäßwände bedingt sein kann, sondern zum Teil einem aktiven Agens zugeschrieben werden muß, das sich außerhalb des Gefäßes vorfindet. Es wurde weiter gezeigt, daß diese äußere Strahlung dasselbe außerordentliche Durchdringungsvermögen besitzt, wie die γ-Strahlen der radioaktiven Produkte und daß sie eine tägliche Periode aufweist[2]), die sich mit der des Potentialgefälles deckt. Dies wird alles ohne weiteres verständlich, wenn man als Quelle dieser Strahlen die in der Luft suspendierten und durch das Erdfeld auf dem Boden abgelagerten Induktionen anspricht, unter denen wohl vor allem das dritte Zerfallsprodukt der Radiumemanation, Radium *C*, in Frage kommt.

Weitere Evidenz für die Richtigkeit dieser Auffassung bieten die Ergebnisse des folgenden Versuches:

In einem luftdichten Zylinder von 8 dm Durchmesser und Höhe, der aus dem dünnsten im Handel erhältlichen Zinkblech hergestellt wurde, befand sich ein Elektroskop mit Mikroskopablesung, das von außen geladen werden konnte. Ein im Blättchenträger befestigter rechtwinklig gebogener Stift trug an seinem Ende als Elektrode ein leichtes Metallrohr, das ungefähr in die Achse des Zylinders zu stehen kam und bei der verwendeten Spannung von

1) Diese Zeitschr. **6**, 465, 1905. H. Gerdien betont hier zuerst die Brauchbarkeit der Aspirationsmethode zur quantitativen Messung der Induktionen.

1) R. Hofmann, diese Zeitschr. **6**, 340, 1905; A. S. Eve, Phil. Mag. (6) **10**, 99, 1905.

2) A. Wood, Nature **73**, 583, 1906.

über 200 Volt in allen Teilen des Meßraumes Sättigungsstrom verbürgte.

Dieser Strom zeigte nun, wenn der Zylinder im Freien (in einem an der Peripherie der Stadt gelegenen Garten) aufgestellt wurde, einen innerhalb weiter Grenzen schwankenden, von Tageszeit und meteorologischen Verhältnissen abhängigen Wert.

Zunächst gelang es die gleiche Periodizität festzustellen, die schon Wood und Campbell bemerkt haben: die Strahlung ist früh und abends größer als um Mittag. Im folgenden sind die an einigen Schönwettertagen des Monates Juni zu diesen drei Terminen erhaltenen Werte der Strahlung in willkürlicher Einheit (Volt pro Stunde) wiedergegeben. Jede dieser Zahlen ist das Mittel aus drei bis sechs Einzelwerten:

Datum	früh	mittags	abends
Juni 18.	87,4	87,0	91,8
„ 19.	88,2	84,1	87,2
„ 20.	87,8	83,3	86,8
„ 21.	86,3	82,6	87,6
„ 22.	88,5	85,5	90,5

Im Sinne der oben ausgesprochenen Anschauung über den Ursprung dieser Strahlung läßt sich die Periode dahin deuten, daß zur Zeit der Maxima des Potentialgefälles (früh und abends) auch die Strömung der radioaktiven Induktionen gegen die Erde ihren Höchstwert erreicht. Um diese Zeiten ist also die Flächendichte der überall am Erdboden und besonders an exponierten Stellen abgelagerten Induktionen am größten und damit die in unserem knapp über dem Erdboden aufgestellten Apparat beobachtete durchdringende Strahlung am intensivsten.

Es braucht nicht zu befremden, daß zur gleichen Zeit die Zerstreuungsbeobachtungen Minima der allgemeinen, hauptsächlich der Wirkung der α-Strahlen zuzuschreibenden Ionisation andeuten. Für diese wird ja doch in erster Linie die Raumdichte der Emanation und ihrer Zerfallsprodukte in Frage kommen und diese kann sehr wohl zur selben Zeit ein Minimum aufweisen, in welcher der radioaktive Belag der Erdoberfläche infolge des hohen Potentialgefälles das Maximum erreicht.

Der Einfluß des Erdfeldes auf die Intensität der derart gemessenen Strahlung kommt auch außerhalb der täglichen Periode zum Ausdruck. In den weitaus meisten Fällen beobachtet man bei länger anhaltendem hohem positivem Potentialgefälle eine Verstärkung, bei niedrigem oder gar negativem Potentialgefälle eine Schwächung der Strahlung. Daß in der Tat eine Ablagerung der Induktionen auf der Erde einen bestimmenden Einfluß auf die Größe dieser Strahlung hat, kommt auch sehr schön in der Wirkung zum Ausdruck, welche Niederschläge in dieser Richtung ausüben. Es hat bereits J. Jaufmann auf direktem Wege nachgewiesen[1]), daß die Regentropfen bei ihrem Falle die in der Luft suspendierten Induktionen mit sich reißen. Da somit durch den Regen auf mechanischem Wege die Induktionen aus der Atmosphäre bis zu beträchtlichen Höhen entnommen und auf dem Erdboden abgelagert werden, so wird man nach einem heftigen Regengusse eine wesentliche Zunahme der Strahlung erwarten können. Daß dies wirklich der Fall ist, zeigt die folgende Beobachtungsreihe, die sich auf einen außerordentlich heftigen $^3/_4$ stündigen Gewitterregen bezieht:

Vor dem Regen wurde bei starkem negativem Potentialgefälle für die Strahlung der unter dem Mittel liegende Wert 69,2 gemessen. Unmittelbar nach dem Aufhören des Regens ergaben sich bei schwach positivem Gefälle die folgenden Werte:

Zeit	Volt pro Stunde
$2^h\ 59^m$	153
3 3	133
3 5	121
3 18	114
3 23	112
3 25	112
3 37	112
3 48	97,8
3 51	95,8

Man sieht, wie mit dem spontanen Zerfall der auf die Erde geschwemmten Induktionen auch die Strahlung zu ihrem normalen Wert zurückkehrt. Die Geschwindigkeit, mit der dieser Prozeß verläuft, deutet darauf hin, daß es sich hier hauptsächlich um die mit Radium *B* und *C* bezeichneten Produkte handelt.

1) Meteor. Zeitschr. **40**, 102, 1905.

Wien, im Juli 1906; II. physikal. Inst. d. Universität.

(Eingegangen 28. Juli 1906.)

Untersuchungen über ein neues Element mit den radioaktiven Eigenschaften des Thors.

Von G. A. Blanc.

In der vorliegenden Mitteilung beabsichtige ich, die endgültigen Ergebnisse einer Reihe von Versuchen bekannt zu geben, welche ich im Verlauf zweier Jahre ausgeführt habe. Der Zweck dieser Untersuchungen war, den radioaktiven Grundbestandteil der Ablagerungen aus den Thermalquellen von Echaillon und von Salins-Moutiers in Savoyen abzuscheiden und seine Natur genau zu bestimmen. Die Ergeb-

Vergl. auch diese Z. f. E. 1906. S. 453. u. Nat. R. 21

nisse, welche ich hier anführe, sind bereits in verschiedenen Mitteilungen der Regia Accademia dei Lincei zu Rom vorgelegt worden.

In einer in der Januarnummer des Jahrganges 1905 des Philosophical Magazine erschienenen Notiz hatte ich darauf aufmerksam gemacht, daß die Ablagerungen von Echaillon und von Salins-Moutiers die Eigentümlichkeit zeigten, eine Emanation auszusenden, welche der von den Thoriumsalzen ausgesandten ähnelt und gleich wie diese die Fähigkeit besitzt, eine in ungefähr 11 Stunden auf die Hälfte abklingende induzierte Radioaktivität zu erzeugen. Diese Erscheinung war um so auffallender, als die Aktivität, besonders die des Schlammes von Echaillon, das Vorkommen bedeutender Mengen von Thorium in diesem Schlamme wahrscheinlich machen mußte, während doch bislang niemals das Vorhandensein thorhaltiger Mineralien in dieser Gegend bekannt geworden war.

In der gleichen Mitteilung kündigte ich an, daß ich eine Untersuchung in Angriff genommen hätte zu dem Zwecke, aus den genannten Ablagerungen die darin enthaltenen radioaktiven Bestandteile abzuscheiden.

In einer späteren Mitteilung auf dem Internationalen Kongreß zum Studium der Radiologie und der Ionisation zu Lüttich[1]) konnte ich dann die Erklärung abgeben, daß es mir gelungen sei, aus der abgelagerten Masse einige Produkte abzuscheiden, welche einerseits ähnliche radioaktive Charakteristika zeigten wie das Thor — nämlich ähnliche Abklingungskonstanten für die Emanation und für die induzierte Aktivität — andererseits aber eine weit höhere Aktivität und ein weit stärkeres Emanationsvermögen besaßen als eine gleiche Gewichtsmenge des entsprechenden Thoriumsalzes.

Unter anderem beschrieb ich die Abtrennung einer kleinen Menge von Hydraten, besonders Eisenhydraten, mit einer Aktivität und einem Emanationsvermögen, die mehrere Hundert Mal stärker waren als die Aktivität und das Emanationsvermögen einer gleichen Gewichtsmenge Thoriumhydrat. Die Annahme, daß es sich hierbei um eine Abscheidung des unter dem Namen Thorium *X* bekannten Produktes aus möglicherweise in den Ablagerungen enthaltenem Thor handeln könnte, diese Annahme mußte ausgeschlossen werden. Die Aktivität der von mir gewonnenen Produkte nahm nämlich nicht, wie die des Thorium *X*, mit der Zeit ab, sondern sie stieg vielmehr allmählich an, bis sie einige Wochen nach der Herstellung einen Höchstwert erreichte, auf welchem sie sich dann zeitlich konstant erhielt.

Andererseits war die Hypothese in Betracht zu ziehen, daß die starke Aktivität der von mir aus den Schlammstoffen abgeschiedenen Produkte herrühren könnte von Spuren eines der bereits bekannten radioaktiven Elemente. Nun war die Anwesenheit von Radium oder von Aktinium (Emanium) auf Grund der Bestimmung der Abklingungsgesetze für die Emanation und für die induzierte Aktivität unzweifelhaft ausgeschlossen. Bekanntlich folgt das Abklingen der Emanationen des Radiums und des Aktiniums dem für alle radioaktiven Vorgänge gleichmäßig gültigen Exponentialgesetze, und zwar fällt bei diesen beiden Emanationen die Radioaktivität in vier Tagen bezw. in drei Sekunden auf die Hälfte ab. Bei den aus den Ablagerungen ausgeschiedenen Hydraten sank dagegen, wie ich gezeigt habe, die Aktivität der Emanation in etwa einer Minute auf die Hälfte herab, ähnlich wie dies für die Thoriumemanation festgestellt worden ist.

Ebenso zeigte auch die induzierte Aktivität meiner Produkte ganz ausgesprochen den Charakter der induzierten Aktivität des Thors, da sie in ungefähr elf Stunden auf die Hälfte herabsank. In Anbetracht des großen Unterschieds zwischen den charakteristischen Zeiten (27 Minuten für Radium, 40 Minuten für Aktinium) ist es überdies klar, daß die Anwesenheit von Radium oder von Aktinium sicherlich in dem Verlaufe eines solchen Prozesses eine merkliche Veränderung hervorgebracht haben würde. Ich will noch hinzufügen, daß ich die mitgeteilten Untersuchungen zur Bestätigung auch noch mit den Produkten in salzsaurer Lösung ausgeführt habe mit Rücksicht darauf, daß die Radiumsalze in festem Aggregatzustande das Bestreben zeigen, die von ihnen fortwährend erzeugte Emanation okkludiert in sich festzuhalten. Was nun die Möglichkeit anbetrifft, die starke Aktivität meiner Präparate auf Spuren solcher Stoffe zurückzuführen, die keine Emanation aussenden, etwa auf Spuren von Polonium oder Radiotellur und von Radioblei, so mußte diese Möglichkeit verworfen werden im Hinblick auf das hohe Emanationsvermögen meiner Präparate. Das Verhältnis zwischen der direkten Aktivität und dem Emanationsvermögen war bei den verschiedenen von mir gewonnenen Hydraten nach Eintritt des radioaktiven Gleichgewichts ganz dasselbe, wie es sich aus den Kontrollversuchen für Thoriumhydrat ergab.

Aus diesen Tatsachen zog ich, wie ich bereits auf dem Lütticher Kongreß erklärte, den Schluß, daß der Schlamm von Echaillon und von Salins-Moutiers einen neuen Körper enthalte mit ähnlichen radioaktiven Eigenschaften wie die gewöhnlichen Thoriumsalze, und daß die radioaktiven Eigenschaften, welche diese letzteren zeigen, aller Wahrscheinlichkeit zurückzuführen seien auf Spuren des neuen Elements,

1) Diese Zeitschr. **6**, 703, 1905.

die in den Thoriumsalzen enthalten sind und sich wegen großer Analogie des chemischen Charakters nur schwer von ihnen trennen lassen.

Auf demselben Kongreß gelangte eine Mitteilung von Sir William Ramsay zur Verlesung, über Versuchsergebnisse, welche Herr O. Hahn im Laboratorium des University College zu London erhalten hatte. Herr Hahn hatte bei dem Versuch, das in den Rückständen eines an Thorium reichen Minerals — des Thorianits — enthaltene Radium auszuziehen, Produkte erhalten, welche gleichfalls eine ähnliche Emanation erzeugten wie das Thorium, dabei aber eine Aktivität aufwiesen, die ungeheuer viel größer war als die einer gleichen Gewichtsmenge dieses Körpers, ohne daß es möglich gewesen wäre, diese Aktivität auf die Anwesenheit von Radium oder Aktinium zurückzuführen. Diese Versuchsergebnisse des Herrn Hahn waren übrigens bereits in einer vorläufigen Mitteilung[1]) angekündigt worden. In dieser vorläufigen Mitteilung sprach Herr Hahn die Ansicht aus, daß die Erscheinungen, welche ich an dem Schlamm von Echaillon und von Salins-Moutiers beobachtet hatte, sowie andere von den Herren Elster und Geitel[2]) berichtete Erscheinungen ähnlicher Art, daß diese Erscheinnngen eben dieser im Thorianit enthaltenen Substanz zugeschrieben werden müßten.

Erinnert man sich nun daran, daß die Herren Hoffmann und Zerban[3]) in ihren Arbeiten behaupten, aus dem Gadolinit inaktives Thor abgeschieden zu haben, so wird man begreifen, daß die Frage nach der Identität dieses neuen Elements mit dem hypothetischen radioaktiven Bestandteile der Thoriumsalze mir wichtig genug erschienen ist, um eine Reihe genauer Untersuchungen zu rechtfertigen, in denen ich, zum Zwecke einer möglichst genauen Feststellung der radioaktiven Charakteristiken dieses Stoffes, seine Eigenschaften eine nach der anderen mit denen verglich, welche die gewöhnlichen Thoriumsalze unter denselben Versuchsbedingungen zeigen.

Während des Fortgangs meiner Untersuchungen ist eine Arbeit des Herrn Hahn erschienen, in welcher dieser Versuche mitteilt, die zum Teil den meinigen ähneln. Dennoch halte ich es für nützlich, die Ergebnisse, welche ich erhalten habe, in ihren Einzelheiten mitzuteilen. Diese Ergebnisse bestätigen nicht nur in bündiger Weise die Identität der von Herrn Hahn und von mir beobachteten Erscheinungen, sondern sie liefern auch den klaren Beweis dafür, daß die Aktivität, welche die gewöhnlichen Thoriumsalze aufweisen, und welche man bislang für eine Eigenschaft des Atoms dieses Elementes gehalten hat, daß diese Aktivität vielmehr der Anwesenheit eines neuen äußerst aktiven Elementes zuzuschreiben ist, eines Elementes, welches wegen einer großen Ähnlichkeit der chemischen Eigenschaften nur sehr schwer von ihnen zu trennen ist.

Ich gehe nunmehr zur Beschreibung meiner Versuche über. Diese sind zum Teil mit den Produkten angestellt worden, welche ich im Laufe des verflossenen Jahres aus dem Schlamm von Echaillon gewonnen hatte, zum Teil auch mit viel aktiveren Präparaten, welche mir Herr Dr. Angelucci besorgt hat, in dessen Gemeinschaft ich die Untersuchungen über das neue Element ausführe.

Die Messungen wurden nach einer Methode ausgeführt, die ich bereits an anderer Stelle[1]) beschrieben habe; nur zur Bestimmung der Abklingungskonstante für die Radioaktivität der Emanation wurde die Methode der radioaktiven Wage benutzt, welche Herr Prof. Sella kürzlich auf dem Kongreß der Società Italiana di Fisica (siehe Elettricista vom 1. Juni 1906) beschrieben hat.

Abscheidung des unter dem Namen Thorium *X* bekannten Produkts.

Rutherford und Soddy haben bei ihren Untersuchungen über die Thorverbindungen die Möglichkeit gefunden, mit Hilfe einer einzigen chemischen Operation aus ihnen ganz kleine Mengen eines Stoffes abzuscheiden, welcher eine außerordentlich viel größere Aktivität besitzt als eine gleiche Gewichtsmenge Thor. Fällt man etwa aus einer Lösung von Thoriumnitrat mit Hilfe von Ammoniak diesen Körper als Hydrat aus, und verdampft man die durch Filtrieren erhaltene Flüssigkeit, so beobachtet man, daß ein großer Teil der Aktivität und fast das gesamte Emanationsvermögen dem Rückstand aus dieser Verdampfung angehören. Dabei sind in diesem Rückstande keine wahrnehmbaren Spuren von Thor vorhanden, und er besteht zum größten Teil aus Verunreinigungen, die in dem Nitrat enthalten waren. Durch mehrfache Wiederholung des mitgeteilten Verfahrens erhält man immer weniger aktive Rückstände, und schließlich hat man auf der einen Seite Thoriumhydrat, das keine Emanation mehr hervorbringt, und dessen Aktivität, aus der direkten Strahlung gemessen, auf 25 Proz. ihres ursprünglichen Wertes gesunken ist; und auf der anderen Seite Rückstände, zuweilen in unwägbarer Menge, welche 75 Proz. der direkten Aktivität und das ganze Emanationsvermögen zeigen, die anfänglich das Thoriumsalz besessen hatte.

Im Verlaufe der Zeit erwirbt jedoch das

1) Zeitschr. f. phys. Chem., 9. Mai 1905.
2) Diese Zeitschr. **6**, 67, 1905.
3) Chem. Ber. 1903, 3093.

1) Phil. Mag., Jan. 1905.

entaktivierte Hydrat die verlorenen Eigenschaften wieder, während sich gleichzeitig die Rückstände aus der filtrierten Flüssigkeit entaktivieren.

Rutherford und Soddy erklärten die oben geschilderten Erscheinungen durch folgende Annahme: Ein Teil der Thoratome, so argumentieren sie, wandelt sich fortgesetzt in Atome einer anderen Art radioaktiver Materie um. Dieser Materie gaben sie den Namen Thorium X. Dieses Umwandlungsprodukt ist, im Gegensatz zum Thor, in Ammoniak löslich. Die Thoremanation würde dann ihrerseits wieder ein Zerfallsprodukt des Thorium X-Atoms sein. Diese beiden Erscheinungen, der Verlust der Aktivität seitens des Thoriums X und die Wiedergewinnung der Aktivität seitens des Thors, aus dem jenes abgeschieden wurde, lassen sich durch zwei Gleichungen von der gewöhnlichen Exponentialform darstellen, nämlich durch

$$\mathcal{J}_t = \mathcal{J}_0 \, e^{-\lambda t} \qquad (1)$$

und

$$\mathcal{J}_t = \mathcal{J}_0 \, (1 - e^{-\lambda t}). \qquad (2)$$

Hier bedeutet $\mathcal{J}_t$ die Aktivität in einem beliebigen Zeitpunkt t, e die Basis der natürlichen Logarithmen, λ eine charakteristische Konstante, welche in beiden Gleichungen denselben Wert hat, endlich $\mathcal{J}_0$ in der ersten Gleichung die Aktivität zu einem Zeitpunkt, der zum Anfangspunkt der Zeit gewählt wird, und in der zweiten Gleichung den Endwert der Aktivität, das heißt, den Wert der Aktivität zu der Zeit, da das Thor wieder das radioaktive Gleichgewicht erlangt hat. Die Schaulinien, durch welche die beiden Vorgänge dargestellt werden, sind einander komplementär; die Summe der Aktivitäten des Thors und des Thorium X bleibt eben immer konstant. Man muß annehmen, daß in den Thoriumsalzen unter normalen Verhältnissen, das heißt bei merklich konstant bleibender Aktivität, die in jedem Augenblick gebildete Menge Thorium X genau der Menge des früher gebildeten und zerfallenden das Gleichgewicht hält.

Nun zeigen, wie ich bereits an anderer Stelle gesagt habe, die aktiven Hydrate, welche ich aus dem Schlamme erhalten habe, nach ihrer Herstellung eine Zunahme der Aktivität, welche einen mehr oder minder langen Zeitraum hindurch andauert, und sich sogar über einige Wochen erstrecken kann. Dieser Umstand führte mich dazu, die Wiederholung des Experiments von Rutherford und Soddy zu versuchen. Zu diesem Zwecke verwandte ich einen einige Wochen zuvor bereiteten Niederschlag von Hydraten von einer Aktivität, die 3000mal größer war als die einer gleichen Gewichtsmenge Thor. Diesen Niederschlag löste ich in Salzsäure auf und fällte ihn mit Ammoniak wieder aus. Darauf filtrierte ich und verdampfte und kalzinierte die Flüssigkeit, um die Ammoniumsalze auszuscheiden. Alsdann sammelte ich den so erhaltenen sehr leichten Rückstand. Das Verfahren lieferte die besten Ergebnisse. Unmittelbar nach ihrer Ausfällung zeigten die Hydrate nicht mehr als einen Bruchteil ihrer vollen Aktivität; das Emanationsvermögen aber zeigte sich nur noch höchstens in ganz geringem Grade. Der Rückstand aus der Verdampfung der filtrierten Flüssigkeit zeigte hingegen eine merkliche Aktivität und emanierte in beträchtlichem Grade. Nach einer kurzen Periode unregelmäßigen Verlaufs, analog wie sie auch von Rutherford und Soddy beim Thor beobachtet worden war, begannen die Aktivität und das Emanationsvermögen des Rückstandes abzunehmen, während gleichzeitig diese Eigenschaften bei den Hydraten zunahmen.

Um diese Ergebnisse mit denen vergleichen zu können, welche man bei Versuchen mit Thor erhält, fällte ich mit Hilfe von Ammoniak einige Gramm Thoriumsalz unter möglichst gleichen Versuchsbedingungen aus.

In den folgenden Tabellen I und II sind die Ergebnisse der Messungen über die Aktivitätsabnahme der Rückstände und der filtrierten Flüssigkeiten zusammengestellt.

Tabelle I.

Thorium X aus Thor gewonnen.

Zeit in Stunden	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0,0	—	100,0
5,5	—	104,0
52,2	82,6	83,1
94,3	60,1	62,3
120,0	50,2	49,9
149,7	40,9	41,3
190,0	30,8	29,4
214,5	26,0	24,9
241,0	21,6	20,8

Tabelle II.

Rückstand aus der Verdampfung des Filtrats von Echaillon.

Zeit in Stunden	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0,0	—	100,0
11,0	—	105,0
19,2	102,9	100,0
49,6	84,1	84,1
96,0	60,7	61,6
115,2	53,1	53,0
169,2	36,4	36,5
216,5	26,1	25,8
233,2	23,2	22,6

Aus diesen beiden Messungsreihen wurden unter Vernachlässigung der Werte, die der anfänglichen Periode unregelmäßigen Verlaufs entsprechen, nach der Methode der kleinsten

Quadrate die Werte für die Konstanten in der obigen Gleichung (1) berechnet, und zwar ergaben sich:
für Thor:

$$\lambda = 0{,}00696$$

und für die aus dem Schlamm abgeschiedenen Produkte:

$$\lambda = 0{,}0070,$$

wenn als Einheit der Zeit die Stunde angenommen wurde. Rutherford gibt für die Abklingungskonstante der Aktivität seines Thorium X den Wert

$$\lambda = 0{,}0072$$

an.

Für die Wiedergewinnung der Aktivität der Hydrate erhielt ich die Ergebnisse, welche in den beiden folgenden Tabellen III und IV angeführt sind:

Tabelle III.

Thoriumhydrat.

Zeit in Stunden	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0,0	—	20,8
18,5	—	29,4
41,0	—	43,5
66,5	52,0	55,5
87,5	64,0	64,9
105,8	73,1	76,9
130,5	83,5	83,3
154,8	89,1	89,3

Tabelle IV.

Hydrate aus den Ablagerungen.

Zeit in Stunden	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0,0	—	22,4
5,9	—	23,9
21,6	—	31,3
48,0	42,0	45,4
77,2	58,5	62,5
100,0	70,5	71,4
148,0	90,3	90,0
175,4	98,5	98,5

Die berechneten Werte wurden unter Anwendung der oben mitgeteilten Formel (2) erhalten. Dabei wurde für λ der für Thorium X gefundene Wert angenommen.

Diese Messungen über die Wiedergewinnung der Aktivität seitens der Hydrate konnten aus dem Grunde nicht über eine bestimmte Zeitgrenze hinaus fortgesetzt werden, weil die Aktivität, welche die Produkte annahmen, genaue Messungen mit dem empfindlichen Apparat, den ich benutzte, äußerst schwierig machte. Indessen genügen die ausgeführten Messungen, um die Identität im Verhalten des Thors und meines Präparats zu zeigen. Die Kurven, welche die beiden Erscheinungen des Verlustes und der Wiedergewinnung der Aktivität veranschaulichen, sind in Figur 1 wiedergegeben.

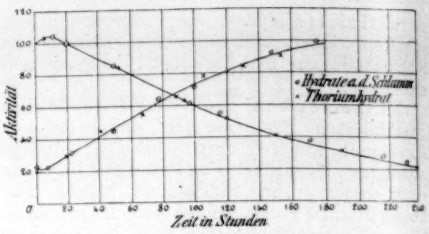


Fig. 1.

Die Emanation.

Ich habe zwar bereits Messungen veröffentlicht, die ich über die Schnelligkeit der Radioaktivitätsabnahme der Emanation angestellt habe, welche aus den Präparaten entsteht, die ich aus dem Schlamme von Echaillon abgeschieden habe. Es erscheint mir indessen zweckmäßig, hier die Ergebnisse der Versuche mitzuteilen, die ich zu dem Zwecke ausgeführt habe, das Gesetz für die Abnahme der Aktivität dieser Emanation unmittelbar mit dem entsprechenden für die Thoremanation zu vergleichen.

Ich gebe hier in den Tabellen V und VI die Ergebnisse aus zwei von mir ausgeführten Beobachtungsreihen wieder, und zugleich die Werte, welche ich nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Benutzung der obigen Gleichung (1) berechnet habe.

Tabelle V.

Thoriumemanation.

Zeit in Sekunden	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0	100,1	100,0
15	84,2	83,7
30	71,4	71,6
45	59,6	60,1
60	50,6	50,7
75	42,2	42,5
90	35,8	36,1
105	29,9	29,9
120	25,3	25,4
135	21,2	21,6
150	17,9	17,8

Tabelle VI.

Emanation der Produkte von Echaillon.

Zeit in Sekunden	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0	97,9	100,0
15	83,2	82,9
30	70,8	68,9
45	60,1	58,1
60	51,2	50,0
75	43,5	43,2
90	37,0	36,5
105	31,5	31,1
120	26,7	26,3
135	22,8	23,2

In der Kurve der Figur 2 ist abwechselnd je ein Wert aus der ersten und einer aus der zweiten Messungsreihe verzeichnet. Für die Konstante habe ich die folgenden Werte gefunden:

für Thor:

$$\lambda = 0{,}0115,$$

und für mein Präparat:

$$\lambda = 0{,}0108.$$

Diese Werte können als übereinstimmend angesehen werden; das wird schon durch die Tatsache bewiesen, daß ich bei einer anderen Messungsreihe, die ich mit dem aus dem Schlamme gewonnenen Präparat ausgeführt habe, für die Konstante den Wert

$$\lambda = 0{,}0120$$

gefunden habe.

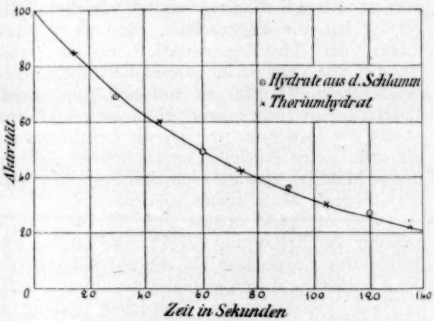


Fig. 2.

Durch längere Einwirkung der Emanation induzierte Aktivität.

Es ist bekannt, daß die Thoriumemanation die Eigenschaft besitzt, die Körper, mit denen sie in Berührung kommt, zeitweise radioaktiv zu machen, besonders dann, wenn diese Körper negativ elektrisch geladen sind. Es ist ferner bekannt, daß auf Grund der Untersuchungen von Rutherford diese Erscheinung der Ablagerung eines Niederschlags von radioaktiver Materie auf diesen Körpern zuzuschreiben ist, einer Materie, die nichts anderes ist als ein Zerfallsprodukt der Emanation, welches sich seinerseits wieder in eine neue Art radioaktiver Materie umwandelt.

Ich will hier die Ergebnisse einiger Versuche mitteilen, welche den klaren Beweis erbringen werden für die Identität der Erscheinungen der induzierten Aktivität, wie sie meine Präparate zeigen, mit denen, welche die Thoriumsalze zeigen. —

Zunächst benutzte ich zwei Stanniolblättchen, welche beide mit dem negativen Pole einer und derselben Zambonischen Säule verbunden waren. Das eine Blättchen ließ ich drei Tage hindurch ununterbrochen unter einer Glasglocke, welche einige Milligramm der aus den Ablagerungen ausgeschiedenen Hydrate von einer Aktivität von ungefähr 3000 Thoriumeinheiten enthielt; das andere Blättchen befand sich gleichzeitig unter einer anderen Glasglocke, die etwa zehn Gramm Thoriumhydrat enthielt. Nach Verlauf dieser Zeit bestimmte ich mittels eines Elektrometers genau die zeitliche Änderung der Aktivität der beiden Blättchen.

Nach Ablauf eines Zeitraumes von einigen Stunden, während dessen die Aktivität beider Blättchen sich nahezu konstant hielt, begann die Aktivität selbst abzunehmen und nahm den für diese Art von Erscheinungen charakteristischen Gang an, das heißt, sie fiel in gleichen Zeiten auf die Hälfte ab, genauer gesagt, in ungefähr elf Stunden.

In den folgenden Tabellen VII und VIII habe ich die Ergebnisse der einzelnen Beobachtungen zusammengestellt mit den unter Anwendung der gewohnten Formel

$$\mathcal{J}_t = \mathcal{J}_0 e^{-\lambda t} \qquad (3)$$

berechneten Werten für die Aktivität. Dabei ergaben sich für die Konstante λ die Werte:

$\lambda = 0{,}0624$ für das Blättchen, welches durch die Anwesenheit der aus den Ablagerungen gewonnenen Hydrate aktiviert worden war, und

$\lambda = 0{,}0618$ für das durch das Thoriumhydrat aktivierte Blättchen.

Tabelle VII.

Thoriumhydrat.

Zeit in Stunden	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0	98,0	100,0
1,5	89,3	90,8
5,7	68,9	68,4
11,7	47,5	47,3
27,2	18,2	18,1
45,3	6,0	6,5
59,2	2,5	2,3
77,8	0,8	0,8

Tabelle VIII.

Hydrat aus dem Schlamm.

Zeit in Stunden	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0	97,4	100,0
4,4	74,0	74,0
10,0	52,2	52,5
15,0	38,2	36,1
22,6	23,7	23,9
36,0	10,3	10,6
52,0	3,8	3,7
69,3	1,3	1,3

Die entsprechende Kurve ist in Figur 3 dargestellt; aus ihr geht deutlich die Identität der beiden Erscheinungen hervor.

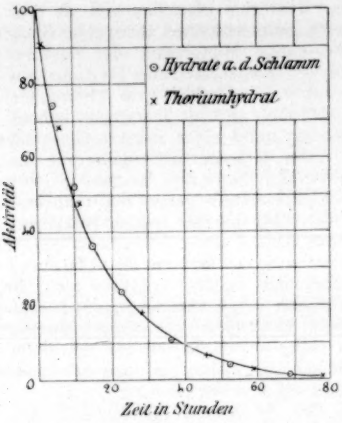


Fig. 3.

Durch kürzere Einwirkung der Emanation induzierte Aktivität.

Wenn ein Körper während eines Zeitraumes, der wenige Stunden nicht überschreitet, der Thoriumemanation ausgesetzt gewesen ist, so zeigt seine Aktivität, wie dies von Sella[1]), Miss Brookes[2]) und Rutherford[3]) erwiesen worden ist, anfänglich eine Zunahme in der Zeit, die unmittelbar auf den Augenblick folgt, in welchem er der Einwirkung des radioaktiven Gases entzogen worden ist. Diese Zunahme ist um so ausgesprochener, je kürzer die Zeit gewesen ist, während welcher der zu aktivierende Körper in Gegenwart der Emanation belassen wurde. Bei längeren Expositionen, das heißt bei solchen von einigen Tagen, reduziert sich die anfängliche Unregelmäßigkeit im Verlauf des Aktivitätsabfalles auf eine Periode stationärer Aktivität. Bei noch längerer Expositionsdauer beginnt die Aktivität sogleich von dem Augenblick an, in welchem der Körper dem Einfluß der Aktivität entzogen wird, nach dem gewöhnlichen Exponentialgesetz abzufallen.

Nun hatte ich, wie schon früher erwähnt, ein analoges Verhalten an den Präparaten bemerkt, die ich aus den Ablagerungen von Echaillon ausgeschieden habe. Ich wollte mich deshalb vergewissern über die Identität dieser Erscheinung mit der an den Thoriumsalzen beobachteten.

Ich habe zu diesem Zwecke zwei Stanniolblättchen, jedes für sich, aktiviert, und zwar das eine mittels der Emanation aus einigen Gramm Thoriumhydrat, das andere mittels der Emanation, welche einige Milligramm des aus dem Schlamme gewonnenen Präparats hervorgebracht hatten. Um vergleichbare Wirkungen zu erhalten, wählte ich die Menge des Thoriumhydrats so groß, daß die von ihr hervorgebrachte Emanation der von meinem Präparate ausgesandten merklich gleich wurde. Ich bediente mich in diesem Falle zur Aktivierung der Methode der elektrischen Ausströmung, wie sie von Sella[1]) beschrieben worden ist. Die emanierenden Stoffe wurden mit einem Blatt Filtrierpapier bedeckt und jeder für sich unter eine Glasglocke gebracht. Unter dieser Glasglocke wurde eine fortwährende Strömung zwischen drei Metallspitzen und einer Metallplatte erzeugt, von denen die ersteren mit dem negativen, die letztere mit dem positiven Pol einer Holtzschen Influenzmaschine verbunden waren. Diese Entladung besitzt, wie dies Sella gezeigt hat, die Eigenschaft, die Luft in einem Raum, der Thoriumemanation enthält, vollständig von dem in ihr suspendiert enthaltenen radioaktiven Material zu befreien, und dieses Material — welches dann eben nichts anderes ist als die Substanz, welcher die Erscheinungen der induzierten Aktivität zuzuschreiben sind —, dieses Material also auf eine den Spitzen gegenüberstehende Metallplatte niederzuschlagen.

Diese Methode erwies sich als viel zweckmäßiger zur Erlangung direkt miteinander vergleichbarer Ergebnisse als die übliche Methode der Aktivierung durch einfache negative Ladung.

Nach verschiedenen Versuchen gelang es mir, einige gute Messungsreihen zu erhalten. Von diesen teile ich in den Tabellen IX und X die folgenden mit, welche ich mit zwei Blättchen erhalten habe, die eine Stunde lang der Entladung bei Gegenwart der Emanationen ausgesetzt gewesen waren.

Tabelle IX.
Thoriumhydrat.

Zeit in Minuten	Aktivität
3	52,9
23	68,0
51	85,0
68	91,9
108	100,0

Tabelle X.
Hydrate aus dem Schlamm.

Zeit in Minuten	Aktivität
13	61,6
28	72,2
41	81,8
65	90,0
83	93,7
107	100,0

1) Lincei Rend. 11 [1], 242, 1902.
2) Phil. Mag., Sept. 1904.
3) Phil. Mag., Jan. 1903.

1) Lincei Rend. 11 [1], 57, 1902.

Die diesen Tabellen entsprechende Kurve ist in Figur 4 wiedergegeben.

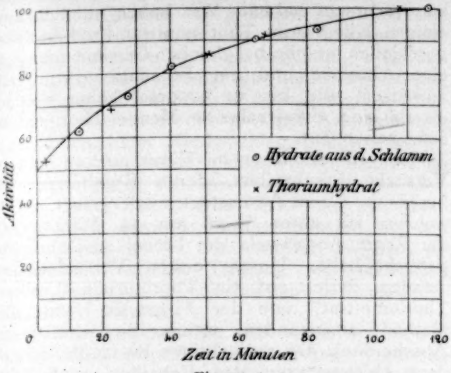


Fig. 4.

Trennung der beiden als Thorium *A* und Thorium *B* bekannten Produkte.

Die oben geschilderte Erscheinung wird bekanntlich von Rutherford dnrch folgende Annahme erklärt: Die Thoriumemanation bringt eine erste Art von Materie hervor, welche Thorium *A* genannt wird. Dieses Thorium *A* sendet keine Strahlen aus, die mit den gebräuchlichen Hilfsmitteln nachweisbar wären, wandelt sich aber seinerseits in ein anderes stark aktives Produkt um, welches Thorium *B* genannt wird. Aus den Kurven von der Art der in Figur 4 dargestellten leitete Rutherford[1]) auf theoretischem Wege die Werte für die Konstanten der Aktivitätsabnahme des Thorium *A* und des Thorium *B* ab und fand, daß ihre charakteristischen Zeiten elf Stunden bezw. etwa 55 Minuten betragen müssen.

Später gelang es Miß Slater[2]), Thorium *A* und Thorium *B* voneinander zu trennen. Eine der von ihr angewendeten Methoden besteht darin, ein Platinblech, das längere Zeit hindurch mit der Emanation in Berührung gewesen ist, einige Minuten lang auf Rotglut zu erhitzen. Thorium *A* ist nämlich leichter flüchtig als Thorium *B*; infolgedessen beginnt nach einer solchen Behandlung die Aktivität des Bleches schnell zu schwinden und fällt nun nicht mehr in elf Stunden, sondern in ungefähr einer Stunde auf die Hälfte ab.

Nach verschiedenen Versuchen ist es mir gelungen, den Versuch von Miß Slater sowohl mit Thorium als auch mit den aus den Ablagerungen gewonnenen Produkten zu wiederholen. Ich konnte feststellen, daß für ein Platinblech, welches ungefähr 48 Stunden lang aktiviert worden war, eine Erhitzung auf Rotglut von ungefähr fünf Minuten Dauer hinreicht, um den für längere Aktivierungsdauer charakteristischen gesetzmäßigen Verlauf der Aktivitätsabnahme in einen anderen überzuführen, der dem von Miß Slater für ihr Thorium *B* angegebenen sehr ähnlich ist.

Einer dieser von mir ausgeführten Versuche lieferte die in den folgenden Tabellen XI und XII aufgeführten Ergebnisse; daselbst sind auch die nach der Gleichung (3) nach der Methode der kleinsten Quadrate berechneten Werte mitgeteilt. Die entsprechenden für die Konstante gefundenen Werte sind:

für Thorium:

$$= 0{,}01084$$

und für das aus dem Schlamm abgeschiedene Hydrat:

$$\lambda = 0{,}01083.$$

Diese beiden Werte stimmen in bemerkenswerter Weise überein. Die charakteristische Zeit würde in diesem Falle etwas mehr als eine Stunde betragen.

Tabelle XI.
Thoriumhydrat.

Zeit in Minuten	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0	100,6	100,0
23	78,4	80,3
54	56,1	56,0
77	43,7	42,5
120	27,4	26,6
205	10,9	11,1

Tabelle XII.
Hydrate aus dem Schlamm.

Zeit in Minuten	Aktivität	
	berechnet	beobachtet
0	99,9	100,0
28	73,8	75,5
62	51,0	50,0
87	38,9	38,6
124	26,1	25,7
188	13,0	13,2

Die entsprechende Kurve ist in Figur 5 dargestellt.

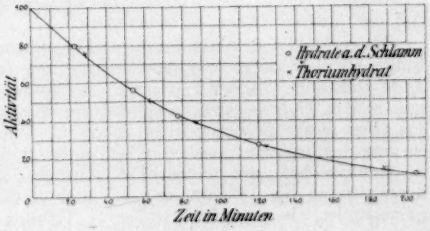


Fig. 5.

1) Rutherford, Radioactivity, 2. Aufl. 1905, 351.
2) Phil. Mag., 1905.

Abscheidung des neuen Elements aus den Thoriumsalzen.

Wie aus den vorstehend mitgeteilten Ergebnissen hervorgeht, zeigte die Radioaktivität der aus den Ablagerungen der heißen Quellen von Echaillon ausgeschiedenen Produkte charakteristische Eigenschaften, die als mit denen der Thoriumsalze identisch angesehen werden konnten. Da nun ferner das zwischen der radioaktiven Kraft der von mir untersuchten Produkte und der Thoriumsalze bestehende ungeheure Mißverhältnisses als vollkommen ausgeschlossen erscheinen ließ, die Aktivität der ersteren auf einen Thoriumgehalt zurückzuführen, so mußte ich notwendigerweise zu dem endgültigen Schluß gelangen, daß ihre Aktivität von einem neuen Elemente herrührte.

Es konnte nun die Frage entstehen: Sind die charakteristischen radioaktiven Eigenschaften in demselben Maße hinreichend zur Identifizierung einer Substanz, wie es beispielsweise die charakteristischen spektroskopischen Eigenschaften sind? Die Antwort auf diese Frage schien im bejahenden Sinne ausfallen zu müssen. Wenn nämlich auch in der Reihenfolge der Umwandlungen zweier verschiedener radioaktiver Substanzen zwei Produkte auftreten können, die ziemlich ähnliche Konstanten der Aktivitätsabnahme aufweisen — wie dies beispielsweise der Fall ist bei der Radiumemanation und beim Thorium *X*, deren Aktivitäten beide in etwas weniger als vier Tagen auf die Hälfte abnehmen —, wenn also auch zwei solche Produkte auftreten können, so scheint doch die Annahme nicht zulässig, daß zwei Körper zwei Reihen von Produkten mit denselben Konstanten der Aktivitätsabnahme hervorbringen können, ebenso wie es auch keineswegs wahrscheinlich ist, daß zwei verschiedene Körper eine und dieselbe Reihe von Umwandlungsprodukten hervorbringen können. Aus dieser ganzen Überlegung mußte also der Schluß gezogen werden, daß die gewöhnlichen Thoriumsalze ihre Aktivität dem Umstande verdanken, daß in ihnen Spuren des neuen Elements enthalten sind, von dem oben die Rede gewesen ist, und daß dieses Element wegen der großen Ähnlichkeit der charakteristischen chemischen Eigenschaften schwer von den Thoriumsalzen zu trennen ist.

Die endgültige Bestätigung dieser Hypothese mußte offenbar durch die Abscheidung des in Rede stehenden Elements, dessen Vorhandensein in den Thoriumsalzen angenommen wurde, aus eben diesen Salzen geliefert werden. Dies ist nun das Problem, an dessen Behandlung ich in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Angelucci herangetreten bin. Wenn es uns auch nicht gelungen ist, einer bestimmten Menge Thoriumsalz ihre Aktivität gänzlich zu entziehen, so können wir doch behaupten, daß wir den unmittelbaren und bündigen Beweis für das Vorhandensein des neuen Elements in dem Thoriumsalze erbracht haben. Wir haben nämlich aus einigen Kilogramm Thoriumnitrat Produkte abgeschieden, welche bei gleichen Gewichtsmengen eine Aktivität und ein Emanationsvermögen aufwiesen, die bis zu 5000mal höher waren, als sie eine entsprechende Menge Thoriumsalz aufzuweisen hat.

Ich will zunächst in Kürze unsere ersten Versuche beschreiben, deren Ergebnisse ich bereits in einem Aktenstück niedergelegt habe, welches ich unter Siegel am 30. März 1906 der Regia Accademia dei Lincei zu Rom eingereicht habe. Unsere ersten Versuche bestanden darin, auf ein Thoriumsalz („reines Thoriumnitrat" von der Firma de Haën) die Methode anzuwenden, welche die wirksamste Abscheidung des radioaktiven Bestandteiles aus den Ablagerungen von Echaillon ermöglicht hatte. Diese Methode gründet sich auf die Eigenschaft des Calciumsulfats, welches sich bei Zusatz von Alkohol aus der salzsauren Lösung des Schlammes niederschlägt, die in der Flüssigkeit vorhandenen Spuren dieses Körpers mit sich zu führen. Wir setzten also zu wässrigen Lösungen von Thoriumnitrat von verschiedenen Konzentrationen eine bestimmte Menge Calciumnitrat und dazu Schwefelsäure. In den meisten Fällen war es indessen nicht möglich, einen von Thor freien Niederschlag von Calciumsulfat zu erhalten, weil das Thor die Neigung zeigte, ein unlösliches Sulfat zu bilden. In einigen Fällen ist es uns jedoch geglückt, ein Calciumsulfat zu erhalten, in welchem nach wiederholtem Auswaschen Thor nur noch in verschwindend kleinen Mengen vorhanden war. —

Dieses Calciumsulfat zeigte unmittelbar nach seiner Bereitung eine starke Aktivität, welche indessen im Laufe der Zeit allmählich nach dem für Thorium *X* charakteristischen Gesetze abnahm, bis sie, nach Verlauf einiger Wochen, bis auf einen ganz winzigen Bruchteil ihres ursprünglichen Wertes zurückgegangen war. In keinem Falle hat das Calciumsulfat seine Aktivität vollständig verloren. Es war jedoch nicht möglich, mittels dieses Verfahrens Produkte zu erhalten, die dauernd eine Aktivität zeigten, welche die Hoffnung rechtfertigen konnte, merklich aktive Produkte zu erhalten.

Nach diesen Versuchen stellten wir verschiedene andere an, in der Hoffnung, mit Hilfe anderer Methoden die in Rede stehende Trennung zu erhalten. Die Ergebnisse waren aber stets negativ.

Endlich versuchten wir es mit einer Methode, die sich auf die bereits von mir beobachtete Eigenschaft des neuen Elements stützt, von

einem in seiner Lösung sich bildenden Niederschlag von Baryumsulfat mitgenommen zu werden.

Zu 100 Gramm des gleichen Thoriumnitrats von de Haën, die sich in stark konzentrierter Lösung befanden, wurden ungefähr 10 Gramm Baryumchlorür zugesetzt und darauf der Lösung eine Menge Schwefelsäure hinzugefügt, die hinreichend war, um die gesamte Baryummenge auszufällen. Der Niederschlag bildete sich indessen nicht sogleich; vielmehr blieb die Lösung zunächst länger als eine Woche hindurch klar. Nach dieser Zeit wurde die Flüssigkeit dann längere Zeit erwärmt und geschüttelt, und auf diese Weise war es denn endlich möglich, zunächst eine leichte Trübung und schließlich einen Niederschlag von Baryum in Gestalt des Sulfats zu erhalten.

Dieses Baryumsulfat nun zeigte unmittelbar nach seiner Bereitung eine starke Aktivität, welche der einer gleichen Gewichtsmenge Thor zukommenden beträchtlich überlegen war. Diese Aktivität begann mit der Zeit abzunehmen, und zwar folgte diese Abnahme zunächst einem Gesetz, welches dem für das Thorium X geltenden ziemlich ähnlich ist; dann aber entfernte sie sich immer mehr von diesem Gesetze, und nach Verlauf von ungefähr drei Wochen hielt sich schließlich die Aktivität des Baryumsulfats merklich konstant.

Es blieb nun noch zu untersuchen, ob dieser Restbetrag von Aktivität nicht vielleicht auf Spuren von Thor zurückgeführt werden müsse, welche möglicherweise von dem Baryumsulfatniederschlag mitgerissen worden wären, wenngleich die Kraft dieses Sulfats geringer war als die einer gleichen Gewichtsmenge Thoriumsulfat.

Deshalb wurde das in Rede stehende Sulfat durch Schmelzen mit Natriumkarbonat in Karbonat übergeführt, und die erhaltene Sulfatlösung wurde, ebenso wie auch die Waschwässer, mit Ammoniak behandelt, ohne daß indessen ein merklich aktiver Niederschlag von Hydraten erhalten worden wäre. Die salzsaure Lösung der in Wasser unlöslichen Karbonate ergab dagegen mit Ammoniak einen leichten Niederschlag von einigen Zentigramm Thoriumhydrat, der Spuren von Eisen enthielt. Dieser Niederschlag zeigte unmittelbar nach seiner Herstellung eine Aktivität, welche ungefähr 10mal höher war als die der gleichen Gewichtsmenge Thoriumhydrat im Zustande radioaktiven Gleichgewichts, nahm indessen im Laufe der Zeit, das heißt in ungefähr drei Wochen, eine Aktivität an, welche 30mal größer war als die eines solchen Thoriumhydrats.

Ich will noch hinzufügen, daß das zu diesen Vergleichsmessungen benutzte Thoriumhydrat aus demselben Nitrate von de Haën gewonnen worden war, mit welchem ich auch meine Versuche ausgeführt habe.

Die Aktivität des genannten Präparats zeigte den Typus des Thors durchaus rein; es war tatsächlich nicht eine Spur von Aktivität vom Typus des Radiums oder des Aktiniums vorhanden. Das ergab sich aus den Messungen, die ich über das Gesetz der Aktivitätsabnahme der Emanation und der induzierten Aktivität angestellt habe. Bei diesen Messungen benutzte ich das genannte Präparat teils in festem Zustande, teils auch in salzsaurer Lösung.

Dies ist nun eben das Ergebnis, welches Herr Dr. Angelucci und ich in dem Aktenstücke niedergelegt haben, welches wir unter dem Datum des 30. März 1906 der Regia Accademia dei Lincei versiegelt eingereicht haben.

Veranlaßt durch den Ausgang dieses Versuches faßten wir nun den Entschluß, den Versuch in großem Maßstabe zu wiederholen. Zu diesem Zwecke verwandten wir 6 Kilogramm von demselben Thoriumnitrat von der Firma de Haën, in der Hoffnung, daß es uns auf diese Weise möglich sein würde, Produkte zu erhalten, die genügend aktiv sein würden, um eine gründlichere Erforschung der Eigenschaften des neuen Elements zu gestatten.

Das Verfahren war dasselbe wie das bereits beschriebene: Die 6 Kilogramm Thoriumnitrat wurden in 6 Liter Wasser gelöst und zu der Lösung wurde eine entsprechende Menge Baryumhydrat in schwefelsaurer Lösung zugesetzt. In der Kälte bemerkten wir keinen Niederschlag; durch lange anhaltendes Erhitzen der Flüssigkeit bis fast auf ihren Siedepunkt und lebhaftes Schütteln erhielten wir aber schließlich 30 Gramm Baryumsulfat. Dieses wurde zunächst sorgfältig mit Wasser ausgewaschen und darauf mit Natriumkarbonat geschmolzen; dann wurden die in Wasser unlöslichen Karbonate nach sorgfältigem Auswaschen mit Salzsäure behandelt, wobei eine Lösung erhalten wurde. Durch Zusatz von Ammoniak — welches zur Vermeidung der Bildung von Baryumkarbonat frei von Kohlensäure sein mußte — erhielten wir aus dieser Lösung einige Milligramm Hydrate, die durch Spuren von Eisen rotbraun gefärbt waren und unmittelbar nach der Gewinnung eine starke Aktivität zeigten, obschon sie so gut wie ganz ohne alles Emanationsvermögen waren. Im Laufe der Zeit hat dieses Präparat eine Aktivität und ein Emanationsvermögen gewonnen, die als ungefähr 5000mal höher angenommen werden können, als sie eine gleiche Gewichtsmenge Thoriumhydrat im radioaktiven Gleichgewicht aufzuweisen hatte, das ebenfalls aus demselben von der Firma de Haën gelieferten Nitrat gewon-

nen worden war. Auch in diesem Falle habe ich genaue Messungen vorgenommen, um mich zu überzeugen, ob nicht vielleicht wenigstens ein Teil dieser Aktivität auf Spuren von Radium oder von Aktinium zurückzuführen sei. Auf Grund des Ergebnisses dieser Kontrollversuche habe ich aber die beregte Hypothese endgültig aufgegeben.

Es ist somit endgültig und direkt erwiesen, daß die gewöhnlichen Thoriumsalze ihre Aktivität der Anwesenheit von Spuren eines sehr stark aktiven Elements verdanken, das in diesen Salzen enthalten ist, sich aber, wenngleich es sehr ähnliche chemische Eigenschaften besitzt wie das Thor selbst, doch mit Hilfe des vorstehend beschriebenen Verfahrens, wenigstens teilweise von ihm trennen läßt.

Für den radioaktiven Bestandteil der Produkte, welche Hahn aus dem Thorianit abgeschieden hat, der von Hahn als das aktivierende Prinzip des gewöhnlichen Thors erkannt worden ist, für diesen Bestandteil also hat Ramsay den Namen Radiothorium in Vorschlag gebracht. Da nunmehr die Identität dieser Substanz mit der in den Ablagerungen von Echaillon und in den von mir aus dem Thoriumnitrat der Firma de Haën abgeschiedenen radioaktiven Produkten enthaltenen Substanz offenbar ist, so werde ich von jetzt ab das in meinen Präparaten enthaltene radioaktive Element mit dem Namen Radiothorium bezeichnen.[1])

Es bleibt nun noch die Frage übrig, ob das Radiothorium ein Umwandlungsprodukt des Thors ist oder nicht. Das scheint nunmehr mit großer Wahrscheinlichkeit der Fall zu sein. Man kann sich darüber durch folgende Methode vergewissern: man beobachte, ob ein Präparat, welches Radiothorium, aber kein Thor enthält, mit der Zeit seine Aktivität verliert. Derartige Versuche, die über diesen Punkt Gewißheit schaffen sollen, sind bereits seit einer Reihe von Monaten im Gange mit Präparaten aus den Ablagerungen von Echaillon. Ich will noch hinzufügen, daß zurzeit auch verschiedene Versuche über die Eigenschaften des Radiothoriums im Gange sind, darunter besonders einer, der zur Feststellung darüber dienen soll, ob das Radiothorium und seine folgenden Umwandlungsprodukte als Endprodukt ihres Zerfalles Helium oder irgendein anderes Edelgas hervorbringen. Sir William Ramsay hat das Vorkommen merklicher Mengen Helium in dem Mineral Thorianit beobachtet, aus welchem Herr Hahn sein Radiothorium abgeschieden hat. Indessen enthält der Thorianit auch Radium, und aus diesem Grunde erscheint mir die Beobachtung von Ramsay nicht als hinreichend, um die Frage endgültig zu entscheiden.

Ich möchte diese Veröffentlichung nicht schließen, ohne Herrn Professor Sella von der Universität Rom auf das herzlichste zu danken für seine zahlreichen Ratschläge, die mir im Verlaufe meiner Untersuchungen überaus wertvoll gewesen sind.

(Aus dem Italienischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 22. Juli 1906.)

1) Aus einer kürzlich erschienenen Notiz (s. diese Zeitschrift **7**, 445, 1906) der Herren Elster und Geitel geht hervor, daß die genannten Herren gleichfalls die oben von mir beschriebenen Tatsachen beobachtet haben und daß es ihnen gelungen ist, aus einem Thoriumsalze ein Präparat abzuscheiden von zwölfmal stärkerer Aktivität als eine gleiche Gewichtsmenge des Ausgangsmaterials.

Über die Strahlung des Radiotellurs. II.[1])

Von B. Kučera und B. Mašek.[2])

In Fortsetzung unserer Arbeit über die Strahlung des Radiotellurs sollte die Absorption in verschiedenen Stoffen gemessen werden. Wegen der leichten Absorbierbarkeit der α-Strahlen muß man sich auf sehr dünne Metallblättchen[3]) und Gase beschränken.

1. Die Absorption in Metallen. Über die früher zur Bestimmung der Absorption von α-Strahlen angewandten Meßmethoden wird weiter unten die Rede sein. Aus dem heutigen Stande unserer Kenntnisse folgt, daß nur die von Bragg[4]) eingeführte Methode der Ionisationskurven paralleler Strahlen eindeutige Resultate zu liefern imstande ist. Deshalb wurde dieselbe Versuchsanordnung benutzt, wie sie im ersten Teil unserer Arbeit beschrieben und daselbst auf Fig. 1 veranschaulicht ist. Die einzige Abänderung am Apparate war die, daß die obere Platte des Meßkondensators nicht am Stäbchen T_1 befestigt war, sondern auf drei Füßchen direkt am Deckel des Elektrops ruhte, um durch Herausnehmen und Wiedereinsetzen des Stöpsels Z jedwede Veränderung am Kondensator zu vermeiden. Das Präparat war mit dem Röhrchenschirm bedeckt, und es wurden Ionisationskurven aufgenommen entweder ohne oder mit einem resp. zweien zwischen Schirm und Präparat eingeschobenen Metallblättchen. Zur Beurteilung der Meßgenauigkeit diene der in Tabelle I wiedergegebene und in Fig. 1 graphisch dargestellte Versuch mit einem resp.

1) I: diese Zeitschr. **7**, 337, 1906.

2) Auszug aus einer der böhm. Kaiser Franz Joseph-Akademie der Wissenschaften in Prag für die „Rozpravy" am 8. Juni 1906 vorgelegten Arbeit.

3) Wir sind Herrn Grünfeld, Silberwarenfabrikant in Prag I, zu großem Danke verpflichtet, daß er uns in uneigennützigster Weise sehr dünne Metallblättchen, die er persönlich ausgewalzt, zur Verfügung stellte.

4) W. H. Bragg u. R. Kleeman, Phil. Mag. **10**, 318, 1905.

Tabelle I.

15. III. 06. Luft von 749 mm Druck, und 18,9° bis 17,3° Temperatur. Das erste *Al*-Blatt wiegt 24,8 mg bei 23,86 cm² Oberfläche, das zweite 17,0 mg bei 16,08 cm² Oberfläche. Kurve I gilt für Luft, II für ein, III für zwei *Al*-Blätter.

I.				II.				III.			
D cm	Fallraum in *Sc*-Teilen	Fallzeit	Ionisation	*D* cm	Fallraum in *Sc*-Teilen	Fallzeit	Ionisation	*D* cm	Fallraum in *Sc*-Teilen	Fallzeit	Ionisation
4,11	49,2 —48,8	7m 14s	0,9	3,51	58,1—57,1	12m 34s	1,3	2,80	49,8 —49,0	4m 39s	2,9
	49,0 —48,6	5 33	1,2	3,40	56,5—56,0	5 04	2,0	2,72	48,95—48,0	4 41	3,4
4,01	48,35—47,6	7 16	1,7	3,22	54,8—54,0	3 20	4,0	2,57	47,95—47,0	3 24	4,65
	48,05—47,4	7 01	1,5	3,12	58—56	4 48,2	6,95	2,49	46—45	2 35	6,45
3,92	47,2 —46,45	5 43	2,2	3,05	53—51	3 15	10,3	2,41	43—41	3 31	9,5
	47,05—46,2	6 22	2,3		50—48	3 13		2,32	39—37	2 39	12,6
3,84	46,0 —45,0	6 14	2,7		42—39	3 24,8		2,24	47—45	1 58,2	16,9
	42—40	5 39	5,9	2,97	41—38	3 16,0	14,9		48—46	1 55,6	17,3
3,75	43—41	5 28	6,1		53—50	3 24,6		2,14	44—41	2 08,6	23,4
	39—37	2 24			49—46	2 18,8			43—40	2 08,6	
3,64	38—36	2 30	13,6	2,90	48—45	2 20,4	21,5	2,05	38—35	1 57,0	25,6
	56—53	2 11,2			43—40	2 00,2			37—34	1 49,0	27,5
3,57	52—49	2 19,8	22,6	2,82	42—39	1 57,2	25,3	1,98	54—50	2 02,0	32,8
	47—44	1 36,2			48—44	2 13,0	30,1		48—44	1 50,6	
3,49	46—43	1 37,2	31,1	2,74	47—44	1 37,4	30,8	1,87	47—43	1 50,0	36,3
	41—37	1 53,2			41—37	1 55,2			41—37	1 41,8	
3,39	40—36	1 54,8	35,0	2,67	40—36	1 58,4	34,2	1,77	40—36	1 44,8	38,7
	62—58	1 39,0			59—55	1 45,6			62—58	1 41,8	
3,31	61—57	1 42,0	39,8	2,58	58—54	1 43,6	38,2	1,66	61—57	1 43,6	39,0
	55—51	1 41,6		2,48	51—47	1 44,8	38,2	1,56	55—51	1 45,6	38,7
3,20	54—50	1 42,0	39,3		58—54	1 46,6		1,47	48—44	1 46,4	37,6
	48—44	1 43,4		2,31	57—53	1 51,2	36,8				
3,12	47—43	1 41,8	39,0		51—47	1 56,6					
	41—37	1 47,0		2,18	50—46	1 56,6	34,3				
3,04	40—36	1 47,0	37,4		49—45	2 07,8					
	52—48	1 56,0		1,97	48—44	2 06,8	31,2				
2,89	51—47	1 54,4	34,7		56—52	2 23,2					
	45—41	2 15,2			55—51	2 27,0	27,7				
2,53	44—40	2 19,6	29,1	1,47	48—44	2 22,6					
	39—35	2 28,8									
2,21	38—34	2 28,4	27,0								
	48—45	1 54,2									
1,91	47—44	1 59,4	25,7								
1,56	42—39	2 02,7	24,5								

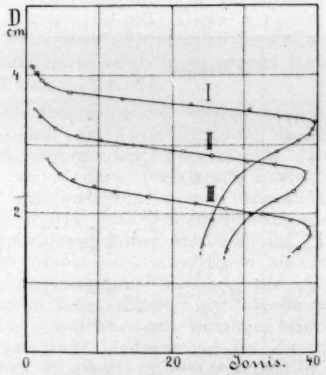


Fig. 1.

zwei Aluminiumblättchen. Unter *D* sind die Entfernungen zwischen dem Präparat und der oberen Platte des Meßkondensators eingetragen; der Kondensator besaß eine Dicke von 0,35 cm.

Wie aus der Fig. 1 ersichtlich, äußert sich die Absorption im Blättchen durch eine Erniedrigung der Ionisationskurve und zwar — wenn wir den geradlinigen Teil der Kurve berücksichtigen — um 6,97 mm bei einem, um 14,02 mm bei den beiden Aluminiumblättchen. Diese Zahlen sind die Mittel der Ordinatendifferenzen bei den Ionisationen 10, 20 und 30, und zwar gleich $(6{,}6 + 6{,}95 + 7{,}35)/3$ und $(13{,}45 + 14{,}02 + 14{,}60)/3$. Die geringe Divergenz der Ionisationskurven ist durch die etwas keilförmige Gestalt der Aluminiumblättchen verursacht. Jedenfalls erhellt, daß eine Aluminiumschicht von 0.00388 mm Dicke, wo also auf 1 cm² 1,045 mg Masse kommt, äquivalent ist einer 7,01 mm dicken Luftschicht von 749 mm Barometerdruck und 17,6° C, in welcher pro 1 cm² $0{,}701 \times 1{,}20 = 0{,}841$ mg Masse enthalten ist. Wenn wir das Verhalten solcher Aluminium- und Luftschichten miteinander vergleichen würden, die pro 1 cm² Fläche dieselbe

Masse enthalten, so kämen wir zu dem Schluß, daß das Aluminium nur $\frac{0{,}841}{1{,}045} = \frac{1}{1{,}242}$ von der Wirksamkeit der Luft besitzt.

Ähnlich wie mit Aluminium wurden auch mit anderen Metallen Versuche gemacht, deren Resultate in der Tabelle II zusammengestellt sind.

Für jedes Metall ist in der I. Spalte Masse pro 1 cm² Fläche, in der II. Spalte das Produkt: Verschiebung der Ionisationskurve mal Luftdichte angegeben. In der nächsten Spalte besagt der Quotient I/II wievielmal weniger das betreffende Metall wirksam ist, als Luft. Die eingeklammerten Zahlen rühren von Bragg her, der Versuche mit Radium-*C* gemacht hat. Derselbe Forscher bemerkte auch, daß der Ausdruck: $\sqrt{\text{Atomgewicht}} \times \text{II/I}$ bei allen Metallen fast denselben Wert hat, was auch unsere Zahlen bestätigen; der mittlere Wert dieser Konstante ist bei Bragg 4,37, bei unseren Versuchen 4,50. Es scheint jedoch, daß der Wert dieses Ausdrucks mit steigendem Atomgewicht etwas steigt. Nur die Zahl für Gold würde diesem Steigen widersprechen, doch war das Goldblättchen am meisten von allen keilförmig und daher der Fehler bei der Bestimmung der Verschiebung, den wir auf ca. 3 Proz. schätzen, am größten.

Bragg führt in seinen Untersuchungen über die α-Strahlung des Radium-*C* eine neue Größe ein, die er „stopping power" — etwa „Atomabsorptionsvermögen" — nennt, und zu welcher ihn die bedeutungsvolle Rolle führte, welche das Atomgewicht bei der Erniedrigung der Ionisationskurven spielt.

Eine Aluminiumschicht wirkt $\frac{1}{1{,}242}$ mal so viel, wie eine Luftschicht, die dieselbe Masse enthält. Die Luft ist aber ungefähr aus vier Teilen N_2 und einem O_2 zusammengesetzt, so daß ihr mittleres Atomgewicht $\frac{1}{5}(16 + 4 \cdot 14) = 14{,}4$, mittleres Molekulargewicht 28,8, und mittlere Quadratwurzel aus dem Atomgewicht $\frac{1}{5}(4\sqrt{14} + \sqrt{16}) = 3{,}79$ beträgt. Das Atomgewicht von Aluminium ist 27,1 und $\sqrt{27{,}1} = 5{,}21$. Wenn wir also die Wirksamkeit von Luft- und Aluminiumschichten miteinander vergleichen würden, die die gleiche Anzahl von Atomen enthalten, d. h. deren Massen im Verhältnis der Atomgewichte stehen, würde die Aluminiumschicht $\frac{27{,}1}{14.4} \cdot \frac{1}{1{,}242} = 1{,}52$ wirksamer erscheinen als die Luftschicht. Diese Zahl ist eben das Absorptionsvermögen von Aluminium (auf Luft als 1 bezogen). Diese Zahlen, welche durch Multiplikation der Zahlen der vorletzten Spalte mit $\sqrt{\text{Atomgewicht}}/14{,}4$ entstehen, sind in der letzten Spalte der Tabelle II angeführt. Die eingeklammerten Zahlen rühren von Bragg her, und gelten für die Absorption von α-Strahlen des Radium-*C*; die in runden Klammern stehenden sind der schon zitierten, die in den eckigen seiner neuesten Arbeit[1]) entnommen. Sie sind um 3 Proz. im Mittel kleiner als die unsrigen, mit welchen sie eine gute Übereinstimmung zeigen. Wie aus der Berechnungsweise der Atomabsorptionsvermögen ohne weiteres klar ist, sind diese der Quadratwurzel aus dem Atomgewichte nahe proportional; der

1) W. H. Bragg, Phil. Mag. (6), 11, 617, 1906.

Tabelle II.

Metall	I. Dicke- u. Dichte-Gew.: Fläche	II. Verschiebung der Kurve mal Luftdichte	I./II.	$\sqrt{\text{Atomgew.}}$	$\sqrt{\text{Atomgew.}}$ I./II.	Atomabsorpt.-vermögen
Gold (*Au*). 12,15 cm² wiegen 38,66 mg. Dicke ca. 1,65 . 10^{-3} mm	$31{,}8 \cdot 10^{-4}$ g/cm²	0,875 cm × 1,18 . 10^{-3} g/cm³ = 10,32 . 10^{-4} g/cm²	3,08 (3,05)	$\sqrt{197.2} =$ 14,02 (14,2)	4,56 (4,65)	4,44 (4,45) [4,45]
Platin (*Pt*). 21,30 cm² wiegen 73,8 mg. Dicke ca. 1,624 . 10^{-3} mm	$34{,}7 \cdot 10^{-4}$	0,963 × 1,198 . 10^{-3} = 11,52 . 10^{-4}	3,014 (3,29)	$\sqrt{194{,}8} =$ 13,94 (14,0)	4,63 (4,25)	4,49 (4,12) [4,16]
Silber (*Ag*). 10,8 cm² wiegen 44,24 mg. Dicke ca. 3,89 . 10^{-3} mm	$41{,}04 \cdot 10^{-4}$	1,54 × 1,172 . 10^{-3} = 18,05 . 10^{-4}	2,28 (2,41)	$\sqrt{107{,}9} =$ 10,37 (10,4)	4,56 (4,30)	3,29 (3,11) [3,27]
Kupfer (*Cu*). 15,47 cm² wiegen 40,45 mg. Dicke ca. 3,01 . 10^{-3} mm	$26{,}17 \cdot 10^{-4}$	1,236 × 1,185 . 10^{-3} = 14,63 . 10^{-4} 1,27 × 1,19 . 10^{-3} = 15,1 . 10^{-4}	1,79 (1,78) 1,737	$\sqrt{63{,}6} =$ 7,98 (7,96)	4,46 (4,45) 4,60	2,51 (2,42) [2,43]
Aluminium (*Al*). 23,86 cm² wiegen 24,8 mg. Dicke ca. 3,85 . 10^{-3} mm	$10{,}4 \cdot 10^{-4}$	0,72 × 1,18 . 10^{-3} = 8,49 . 10^{-4}	1,226 (1,23)	$\sqrt{27{,}1} =$ 5,21 (5,15)	4,26 (4,20) 4,20	1,53 (1,53) [1,45]
Aluminium (*Al*). 16,08 cm² wiegen 17,0 mg. Dicke ca. 3,92 . 10^{-3} mm*)	$10{,}45 \cdot 10^{-4}$*)	0,701 × 1,20 . 10^{-3} = 8,41 . 10^{-4}*)	1,241*)			

*) Gilt im Mittel für den Versuch mit beiden Aluminiumblättern, welcher in Tabelle I in extenso wiedergegeben ist.

Tabelle III.

Luft I Druck 532,5 mm $t = 16{,}5^0$			Luft II Druck 651 mm $t = 16{,}3^0$			Luft III $b = 750$ mm $t = 16{,}3^0$		Sauerstoff Druck 742,5 mm $t = 15{,}0^0$			Kohlensäure Druck 752 mm $t = 15{,}7^0$		
D	$\mathcal{J}$	$\mathcal{J}'$	D	$\mathcal{J}$	$\mathcal{J}'$	D	$\mathcal{J}=\mathcal{J}'$	D	$\mathcal{J}$	$\mathcal{J}'$	D	$\mathcal{J}$	$\mathcal{J}'$
7,05	1,2	1,2	5,44	1,27	1,27	4,37	2,2	4,43	1,6	1,6	3,59	2,8	2,8
5,95	2,3	2,8	5,09	2,17	2,35	4,17	3,7	4,08	3,5	3,3	3,11	2,8	2,8
5,69	5,3	6,97	4,79	3,17	3,5	3,94	9,5	3,81	7,6	7,0	2,85	5,05	4,2
5,51	8,8	11,9	4,63	4,83	5,35	3,86	14,4	3,72	10,8	9,9	2,76	5,9	4,8
5,38	12,4	17,0	4,46	10,9	12,3	3,73	22,9	3,65	15,0	13,7	2,58	13,9	10,1
5,28	15,6	21,4	4,37	15,9	18,1	3,68	26,6	3,51	22,7	20,7	2,50	20,95	14,7
5,11	20,8	28,8	4,16	25,15	28,8	3,61	28,8	3,41	28,7	26,1	2,42	28,0	19,3
4,95	24,4	33,8	4,06	27,9	32,0	3,60	30,2	3,37	30,3	27,5	2,34	37,2	25,4
4,86	24,6	34,1	4,00	28,7	32,9	3,51	33,0	3,29	32,4	29,4	2,29	39,9	27,2
4,71	24,3	33,7	3,81	29,2	33,4	3,42	32,7	3,07	32,4	29,4	2,24	40,95	27,9
4,38	21,9	30,3	3,60	26,5	30,4	3,33	32,0	3,00	31,3	28,4	2,17	41,0	27,9
3,89	19,75	27,3	3,49	25,45	29,1	3,13	30,1	2,70	28,9	26,2	2,11	39,6	27,0
3,45	18,4	25,4	3,27	24,4	27,9	2,91	28,2	2,27	25,95	23,6	2,02	38,5	26,3
2,69	17,4	24,0	2,86	22,6	25,9	1,91	22,1	1,88	23,9	21,8	1,87	35,9	24,5
2,05	17,0	23,4	2,47	20,75	23,7								
			1,97	19,7	22,5								

Proportionalitätsfaktor scheint jedoch mit steigendem Atomgewicht etwas größer zu werden.

2. Einige Versuche mit Gasen. Behufs Aufnahme von Ionisationskurven in Luft von verschiedenen Drucken und in O_2 und CO_2 wurde der Glaszylinder V möglichst luftdicht gemacht. Die Luft wurde mittels einer Wasserstrahlluftpumpe verdünnt und der Druck an einem offenen Manometer abgelesen. Die beiden andern Gase wurden mittels Phosphorsäureanhydrid getrocknet und durch eine Deionisierungsröhre hindurchgeführt; CO_2 wurde aus Marmor mittels chemisch reiner Salzsäure bereitet, O_2 einer Stahlbombe entnommen. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle III (D = Entfernung des Präparats von der Mitte des Meßkondensators, dessen Dicke 0,35 cm betrug und $\mathcal{J}$ = zugehörige Ionisation) zusammengestellt und auf Fig. 2 durch ausgezogene Kurven graphisch veranschaulicht.

Die ausgezogenen Ionisationskurven auf Fig. 2 sind vom Type derselben in Fig. 1 wesentlich verschieden; dies kommt daher, daß das neue Medium (verdünnte Luft, O_2, CO_2) nicht nur zwischen dem Präparat und der oberen Platte des Meßkondensators, sondern auch in diesem selbst enthalten ist. Um Kurven zu bekommen, aus denen sich nach der früher angewandten Methode die Absorption berechnen ließe, müssen wir Idealkurven konstruieren, welche dann erhalten wären, wenn sich das neue Medium nur im Zwischenraum zwischen Präparat und Kondensator befände, der Kondensator selbst aber mit Luft von 750 mm Druck und $t = 16{,}3^0$ C gefüllt wäre, d. h. wir müssen aus der Ionisation $\mathcal{J}$ diejenige $\mathcal{J}'$ berechnen, welche in Luft von 750 mm Druck und $t = 16{,}3^0$ entstünde. Nach den

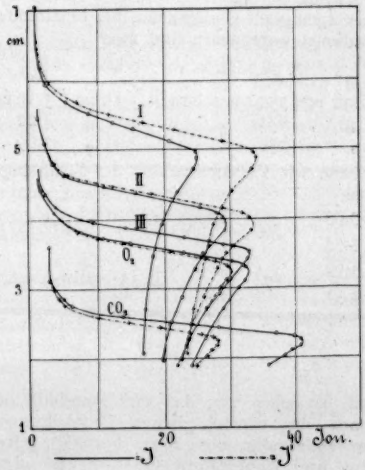


Fig. 2.

Messungen von Strutt[1]) sind relative Ionisationen von O_2 und CO_2, die durch Bestrahlung mit α-Strahlen entstehen, sehr nahe proportional ihrer Dichte; dies gilt auch in ziemlich breiten Grenzen in Luft bei verschiedenen Drucken. Aus diesem Grunde wurden diese idealen Ionisationen $\mathcal{J}'$ im lufterfüllten Kondensator nach folgenden Formeln berechnet:

1) R. J. Strutt, Phil. Trans. of the Roy. Soc. A. **198**, 508, 1901 und Proc. Roy. Soc. **72**, 208, 1903. Cfr. Rutherford, Radioactivity, 2. Ed., p. 64, 1905 und J. J. Thomson, Conduction of El. through Gases, Cambridge, p. 311, 1903.

$\mathcal{J} = (\mathcal{J} - 1{,}2)\frac{750}{532{,}5} + 1{,}2$ bei Luft von 532,5 mm Druck und 16,5° C

$\mathcal{J} = (\mathcal{J} - 1{,}2)\frac{750}{651} + 1{,}2$ bei Luft von 651 mm Druck und 16,3° C

$\mathcal{J} = \mathcal{J}$ bei Luft von 750 mm Druck und 16,3° C

$\mathcal{J} = (\mathcal{J} - 1{,}2)\frac{1}{1{,}10} + 1{,}2$ beim O_2 von 742,5 mm Druck und 15,0° C

$\mathcal{J} = (\mathcal{J} - 2{,}8)\frac{1}{1{,}52} + 2{,}8$ bei CO_2 von 752 mm Druck und 15,7° C.

1,2 resp. 2,8 sind Ladungsverluste (leak currents) ohne Einwirkung der α-Strahlung. Diese so berechneten, und in Tabelle III unter $\mathcal{J}$ eingestellten Ionisationen sind auf Fig. 2 durch die strichpunktierten Kurven graphisch veranschaulicht. Aus diesen in größerem Maßstab auf Millimeterpapier aufgezeichneten „idealen" Ionisationskurven wurden Strahlungsweiten („ranges") von Strahlen bei bestimmten Ionisationen entnommen und zwar

	für die Ionisation von 10	25 arbitr. Einheiten
bei Luft von 532,5 mm Druck	5,55 cm	5,19 cm
„ „ „ 651 „ „	4,51 „	4,22 „
„ „ „ 750 „ „	3,93 „	3,69 „

Wenn wir Verhältniszahlen der Strahlungsweiten

$\frac{3{,}93}{5{,}55} = 0{,}709$ $\frac{3{,}69}{5{,}19} = 0{,}711$ Mittel 0,710

und $\frac{3{,}93}{4{,}51} = 0{,}871$ $\frac{3{,}69}{4{,}22} = 0{,}875$ Mittel 0,873

und umgekehrte Verhältnisse von Drucken

$$\frac{532{,}5}{750} = 0{,}710 \text{ und } \frac{651}{750} = 0{,}870$$

bilden, so sehen wir, daß sich innerhalb der Grenzen der unumgänglichen Beobachtungsfehler vollständig der Satz bestätigt: Bei einem und demselben Gase (Luft) sind die Strahlungsweiten, welche denselben Ionisationen, d. h. denselben Geschwindigkeiten der α-Strahlen entsprechen, umgekehrt proportional den Drucken (Dichten).

Beim O_2 und CO_2 wurden die Strahlungsweiten bei den Ionisationen 10 und 20 einerseits den reduzierten ($\mathcal{J}$), andrerseits den nicht reduzierten ($\mathcal{J}$) Kurven entnommen, da bei den $\mathcal{J}$-Kurven die maximale Ionisation im Gase, von welcher noch weiter unten die Rede sein wird, stark verschieden ist von derjenigen in Luft III, wodurch die Neigung des geradförmigen Teils der Ionisationskurve geändert erscheint. Auf diese Weise wurden nachstehende Strahlungsweiten erhalten:

Für die Ionisation	10 reduziert	10 nicht red.	20 reduziert	20 nicht red.
im O_2	3,72 cm	3,73 cm	3,52 cm	3,54 cm
in CO_2	2,60 „	2,61 „	2,43 „	2,52 „

Wenn wir wieder Verhältniszahlen dieser Strahlungsweiten und derjenigen in Luft III (3,93 cm und 3,76 cm) bilden, so bekommen wir beim Sauerstoff: 0,948 0,950 0,937 0,943, Mittel 0,945,

bei der Kohlensäure: 0,662 0,665 0,647 0,670 Mittel 0,661.

Als mittlere Quadratwurzel aus dem Atomgewicht bei der Luft wurde seinerzeit 3,79 erhalten; bei O_2 ist sie gleich $2 \cdot \sqrt{16}/2 = 4{,}0$, bei CO_2 $(\sqrt{12} + 2 \cdot \sqrt{16})/2 = 5{,}73$. Das Verhältnis dieser Größen bei der Luft und den beiden Gasen ist 0,948 und 0,662, also gleich dem Mittel aus den umgekehrten Verhältnissen der Strahlungsweiten. Auch die Zahlen bei der Ionisation 10, welche durch die Reduktion wenig tangiert werden, genügen an sich selbst sehr gut dieser Beziehung. Daraus folgt der Satz: Bei verschiedenen Gasen derselben Drucke sind die Strahlungsweiten, welche α-Strahlen des Radiotellurs von derselben Geschwindigkeit entsprechen, umgekehrt proportional den mittleren Quadratwurzeln aus ihren Atomgewichten.

Aus den angeführten Zahlen folgt für die Atomabsorptionsvermögen von O_2 und CO_2, daß sie mit großer Genauigkeit gleich sind den Verhältniszahlen der mittleren Atomgewichtsquadratwurzeln, also für O_2 gleich 1,055, für CO_2 1,514. Bragg gibt für diese Größen in seiner neuesten bereits zitierten Arbeit die Zahlen 1,055 und 1,47 an, welche aus Versuchen mit der α-Strahlung desjenigen Radiumprodukts gewonnen sind, welches in gewöhnlicher Luft die maximale Strahlungsweite von 4,83 cm hat. Die erste Zahl stimmt mit unserer vollständig überein; die Nichtübereinstimmung der zweiten kann daraus erklärt werden, daß bei Braggs Versuchen CO_2 leicht etwas mit in das Gefäß hereindiffundierter Luft vermischt sein konnte, da sich der Meßkondensator im oberen Teile des Gefäßes befand. Bei unseren Versuchen befand sich der Kondensator am Boden des Zylinders V (Fig. 1, S. 337, diese Zeitschr.) und ein CO_2-Strom wurde über eine halbe Stunde hindurchgeführt, ehe mit den Messungen begonnen wurde. Unsere Messungen bestätigen das Braggsche Gesetz von der mittleren Quadratwurzel aus dem Atomgewicht besser, als seine eigenen.

3. Bemerkung über die Messung der relativen Ionisationen durch α-Strahlen in verschiedenen Gasen. Für die β- und γ-Strahlung, welche leicht sehr dicke Gas-

schichten zu durchdringen imstande sind, ist die relative Ionisation in verschiedenen Gasen durch das Verhältnis der Sättigungsströme definiert, wobei tacite vorausgesetzt wird, daß die Strahlung bei Versuchen in beiden Gasen dieselbe ist. Dies ist auch immer bei der gewöhnlichen Versuchsanordnung der Fall. Bei der α-Strahlung ist die Sachlage wesentlich anders, da diese Strahlungsart beim Durchgang durch Gasschichten verhältnismäßig sehr geringer Dicke verändert wird und ihre Eigenschaften, Geschwindigkeit und Ionisierungsvermögen stark ändert und zwar je nach der Natur des Gases bei Schichten derselben Dicke in verschiedener Weise. Es hat also die Definition der relativen Ionisierung nur dann einen Sinn, wenn es sich in beiden Gasen um Strahlen derselben Geschwindigkeit handelt. Daraus folgt, daß die relative Ionisation in verschiedenen Gasen eindeutig am einfachsten so zu bestimmen ist, daß man z. B. die maximalen Ionisationen an den Ionisierungskurven in zwei Gasen bei demselben Druck und Temperatur miteinander vergleicht, da diese in beiden Fällen einer und derselben Strahlungsart, die eben durch die maximale Ionisierungsfähigkeit definiert ist, entsprechen. Die aktive Substanz muß in einer außerordentlich dünnen Schicht vorhanden sein, wie dies z. B. beim Radiotellur oder Radium-*C* der Fall ist. Ist dies nicht erfüllt, so kommen aus der Oberfläche des Präparats viel geschwindere Strahlen heraus als aus seinen unteren Schichten, so daß man mit einem Gemisch von verschiedenartigen Strahlen zu tun hat. Der Meßkondensator muß, soweit dies die Empfindlichkeit der Messung zuläßt, eine womöglich kleine Dicke haben. Diesen Anforderungen entspricht nicht die gewöhnlich zur Bestimmung der relativen Ionisation angewandte Methode, wobei der aktive Stoff auf der unteren Platte eines ziemlich breiten Kondensators in Pulverform aufgeschüttet wird und zwar in einer Schicht, die weder sehr dünn, noch auch überall gleich dick ist. Dabei können außerdem die Resultate von den Dimensionen und der geometrischen Form des Kondensators abhängig sein.

Kehren wir nun zu unseren Versuchen zurück. Wenn wir die Ionisationen J durch die relative Ionisation dividieren, so sollten die Maxima der so entstandenen J-Kurven, d. h. der strichpunktierten Kurven in Fig. 2 dieselbe Abszisse haben. Bei Luft von verschiedenem Druck ist dies ziemlich gut erfüllt, obgleich auch hier, wenn wir zu größeren Drucken fortschreiten, die entsprechenden Zahlen 34,1, 33,5 und 33,0 einen Gang zeigen.

Aber beim Sauerstoff bekommen wir die Zahl 30, bei der Kohlensäure sogar 28. Dies kann zwei Gründe haben: 1. Entweder sind die Struttschen Zahlen, die mittels der älteren Methode gewonnen worden sind, nicht gültig oder 2. war der Strom nicht gesättigt. Über die erste Ursache können wir vorläufig gar nichts entscheiden, solange keine Zahlen, die den gemachten Anforderungen entsprechen würden, vorhanden sind. Daß aber der zweite Umstand eine bedeutende Rolle spielen könnte, folgt aus den Versuchen von Bragg[1]), der in jüngster Zeit gezeigt hat, daß der Strom zu seiner Sättigung in komplexen Gasen wie CO_2 eine sehr hohe Spannung gebraucht. Was die Größenordnung anbelangt, so fand Bragg, daß der Strom im Äthylchlorid bei 600 Volt/cm ungefähr 75 Proz. des gesättigten betrug, wenn der Meßkondensator eine Dicke von 2—4 mm hatte und die Sättigungsstromstärke ca. $3 \cdot 10^{-13}$ Ampere/cm^2 war. Bei unseren Versuchen war der Potentialgradient 670 Volt/cm, die Dicke des Kondensators 3,5 mm und die Stromdichte ca. $1 \cdot 10^{-13}$ Ampere/cm^2. Wenn wir die Richtigkeit der Struttschen Zahlen, d. h. die Proportionalität zwischen Ionisation und Dichte des Gases, voraussetzen würden, so würde dem Strome beim O_2 etwa 9 Proz., bei CO_2 ca. 15 Proz. zur Sättigung fehlen. Die weiteren Versuche Braggs, der die Ursache dieser Erscheinung in der Anfangsrekombination („initial recombination") sucht, konnten wir nicht wiederholen, da wir mit unserer Versuchsanordnung nicht imstande waren, den Potentialgradienten bei gleicher Kondensatordicke beliebig zu ändern.

4. Frühere Messungen der Absorption der α-Strahlung in Metallen. Von Frau S. Curie[2]) und Herrn Rutherford mit Miss Brooks[3]) rühren einige Versuche über die Absorption der Poloniumstrahlung her, welche nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse

1) W. H. Bragg, Phil. Mag. (6), 11, 466, 1906.
2) Frau S. Curie, C. R. 130, 76, 1900. Cfr. „Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen", übersetzt von W. Kaufmann, Braunschweig 1904, S. 64 u. f.
3) E. Rutherford und Miß Brooks, Phil. Mag., Juli 1902 und Radioactivity, 2nd Ed., p. 161 u. f.

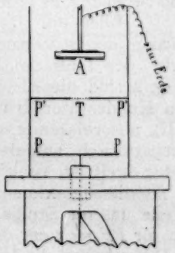


Fig. 3.

in etwas anderem Lichte erscheinen dürften. Die Versuchsanordnung der Frau Curie wurde durch die auf Fig. 3 veranschaulichte Einrichtung nachgeahmt: Die mit dem Elektroskop verbundene Platte PP von 5,8 cm Durchmesser und der Boden $P'P'$ eines zylindrischen Blechgefäßes bilden zusammen einen Kondensator von 3 cm Dicke, die auch von Frau Curie benutzt wurde. Die Strahlung, welche von einer zentralen kreisrunden Fläche A von 0,8 cm Durchmesser ausgeht, gelangt in den Kondensator durch die Öffnung T (Durchm. = 1,4 cm), welche mit feiner Metallgaze bedeckt ist. Das aktive Präparat konnte mit einem oder mehreren der früher verwendeten Metallblätter bedeckt werden, die mittels eines Ringes und 3 Klammern an A festgehalten wurden.

Wir stellten uns die Aufgabe, zu zeigen, daß die Resultate, welche mit dieser oder einer ähnlichen Anordnung erhalten werden, nicht eindeutig sind und sich aus der Form der Ionisationskurven leicht voraussagen lassen. Frau Curie fand experimentell, daß (S. 65, l. c.) „die Poloniumstrahlen um so absorbierbarer sind, je dicker die schon durchstrahlte Schicht von Materie ist. Dieses merkwürdige Absorptionsgesetz steht im Widerspruch mit dem für die andern Strahlungen bekannten". Und weiter (S. 66): „Wenn man die strahlende Substanz mit einem Aluminiumblatt von 0,01 mm Dicke bedeckt, so ist die dadurch hervorgerufene Absorption um so größer, je größer die Entfernung AT. Legt man auf das erste Aluminiumblatt ein gleiches zweites, so absorbiert jedes Blatt einen Bruchteil der auffallenden Strahlung; dieser Bruchteil ist für das zweite Blatt größer als für das erste, so daß das zweite stärker absorbierend erscheint."

Diese Sätze werden durch die Versuche von Frau Curie bestätigt; auch die folgenden Zahlen einer von unseren Beobachtungsserien, bei welcher $PP' = 3$ cm war, sind damit in Übereinstimmung:

Entfernung AT .	3,5	3,0	2,5	2,0	1,0	0,3 cm
Von 1 Aluminiumbl.	0	30	50	63	86	100
„ 2 „	0	0	10	25	48,5	64

durchgelassene Strahlung in Prozenten der auffallenden.

Zur Erklärung dieser Versuche genügt es, sich der Form der Ionisationskurven zu erinnern. In Fig. 4 sind dieselben für einen genügend engen Kondensator (I) und für ein (II) oder zwei (III) absorbierende gleiche Aluminiumblätter schematisch aufgezeichnet. Wenn der Kondensator breit ist, so kommt kein ausgesprochenes Abszissenmaximum zustande, wie aus dem I. Teile unserer Studie ersichtlich ist, und wie auch für $PP' = 3$ cm der direkte Versuch ergab. Dann haben die Ionisationskurven ungefähr die Form des Teiles AB auf Fig. 4.

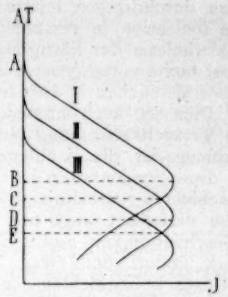


Fig. 4.

Die Sätze von Frau Curie lassen sich dann aus diesem Teile der Figur direkt ablesen. Bei unserem Versuch mit viel dünneren Blättchen kamen wir bis ungefähr zum Punkte C, und deshalb äußert bei der Entfernung $AT = 0{,}3$ cm das erste Blättchen scheinbar gar keine Absorption. Wenn wir aber den Kondensator enger wählen, damit das Maximum auf den Kurven ausgesprochen erscheine, so können wir leicht erzielen, daß die Aluminiumschicht die Strahlung scheinbar verstärkt, also eine negative Absorption äußert. So war z. B. bei $PP' = 1{,}2$ cm, $AT = 1{,}1$ cm der Strom im Kondensator ohne Aluminiumblatt gleich 37,0, mit einem Blättchen 42,1, mit zweien 38,5, so daß die durchgelassene Strahlung beim ersten Blatt 111 Proz. der auf ihn auffallenden beträgt, beim zweiten 91,5 Proz. der auffallenden, 104 Proz. der ursprünglichen. Dies vielleicht durch eine Sekundärstrahlung erklären zu wollen, wäre unnütz, wie ein Blick auf Fig. 4 lehrt. Es ist klar, daß wir uns ungefähr an der Stelle D der Ionisationskurven befinden. Wenn unsere Erklärung richtig ist, so muß man durch eine weitere Annäherung des Präparats erzielen können, daß auch beim zweiten Blatt eine negative Absorption hinsichtlich der auf ihn auffallenden Strahlung stattfindet. Dies ergab wirklich der Versuch; wenn AT gleich 0,7 cm war, so bekamen wir für die Ströme ohne, mit einem oder mit zwei Aluminiumblättern die Werte 65,3, 74,3 und 76,3, wie dies für Entfernungen AT, die kleiner als E sind, nach der Fig. 4 notwendig der Fall sein muß.

Die Sätze von Frau Curie sind also Spezialfälle, die nur für eine bestimmte Dicke des Kondensators und der Absorptionsblättchen, sowie für einen bestimmten Abstand AT des Präparats gültig sind. Die von Frau Curie angewandte Methode ist nicht geeignet, um Naturkonstanten für die Absorption der α-Strahlen in Metallen zu bestimmen.

Frau Curie machte auch weitere Versuche,

wobei das aktive Präparat direkt auf der Öffnung T entweder außerhalb oder innerhalb des Kondensators auflag ($AT = 0$), wobei dann die Absorptionsblättchen auf das Präparat gelegt wurden. Diese Versuchsanordnung ist derjenigen des Hrn. Rutherford analog, wobei auch der aktive Stoff auf der Innenseite der unteren Kondensatorplatte ausgebreitet war. Der einzige Unterschied ist nur der, daß Rutherford eine (ca. 30 cm²) große, Frau Curie (wenigstens nach Fig. 8 ihres zitierten Buches zu urteilen) dagegen eine kleine strahlende Fläche benutzte. Wir ahmten diese Versuchsanordnungen dadurch nach, daß die Öffnung T (Fig. 3) mit einem starken Metallblatt verschlossen, und das mit einem passenden Schirm bedeckte Präparat auf die Platte PP gelegt wurde.

Frau Curie bekam (l. c. S. 68) für die Durchlässigkeit von 7 sehr dünnen Aluminiumblättern die Zahlen 0,69, 0,94, 0,95, 0,91, 0,92, 0,93, 0,91, die also, wenn man von der ersten absieht, fast konstant sind, wogegen Rutherford mit Miß Brooks bei Benutzung dickerer Aluminiumblätter die sehr stark abfallenden Zahlen 0,41, 0,31, 0,17, 0,067 erhielten. Unsere Versuche mit kleiner strahlender Fläche (Durchmesser 0,8 cm) zeigten, daß wir nach Belieben zuerst fallende oder steigende Zahlen bekommen können je nach der Dicke PP' des Kondensators. Bei $PP' = 2{,}6$ cm bekamen wir die Zahlen 0,67, 0,62, 0,52, 0,46, 0,30, 0,0, bei $PP' = 0{,}8$ cm die Zahlen 0,66, 0,67, 0,69, 0,54, 1,12, 0,0. Bei sehr geringer Dicke der absorbierten Blättchen würden die ersten Zahlen fast konstant sein. Das Ansteigen von 0,54 zu 1,12 in dieser zweiten Serie wurde dadurch verursacht, daß beim Auflegen des fünften Blättchens die stark ionisierenden Enden aller Strahlen in das Innere des Kondensators hineingelangten; jedes von den Aluminiumblättchen ist nämlich einer Luftschicht von ungefähr 0,7 cm äquivalent, so daß vom Strahlungsbereich 4,1 cm nach Abzug von $5 \times 0{,}7$ etwa 0,6 cm als Strahlungsweite der α-Strahlen übrig bleiben. Bei Versuchen mit einer größeren strahlenden Fläche (Durchm. 2,8 cm, Fläche 6 cm²) erhielten wir bei $PP' = 2{,}8$ cm die Zahlen 0,73, 0,62, 0,54, 0,46, 0,32, 0,0 und bei $PP' = 0{,}8$ cm die Zahlen 0,66, 0,69, 0,61, 0,49, 0,26, 0,0.

Aus allen diesen Versuchen geht nur das hervor, daß die Methoden der Frau Curie und des Hrn. Rutherford nicht geeignet sind, um allgemein gültige Beziehungen bezüglich der Absorption der α-Strahlen zu ergeben, was eben dadurch verursacht ist, daß sich die Eigenschaften, insbesondere das Ionisierungsvermögen der Strahlen mit der Länge der im Gase durchgelaufenen Strecke so stark ändern. Bei der Untersuchung von β- oder γ-Strahlen sind sie freilich vollständig am Platze und leisten vorzügliche Dienste.

Beim Radium im radioaktiven Gleichgewicht, wo die α-Strahlung noch viel komplexer ist als beim Radiotellur, gilt selbstverständlich das gleiche. Daraus ist zu folgern, daß kaum die Ansicht Rutherfords (Radioactivity, p. 162) für gültig angesehen werden kann: „Thus, for radium, over a wide range, the current decreases according to an exponential law with the thickness of the screen or $i/i_0 = e^{-\lambda d}$, where i is the current for a thickness d, and i_0 the initial current." Die Zahlen für die relative Durchlässigkeit, aus denen er dies folgert, variieren ja zwischen 0,36 und 0,60, und dieses Schwanken kann man sicherlich nicht Beobachtungsfehlern zuschreiben, sondern es ist durch die Natur der Sache selbst bedingt.

5. Bemerkung über die Messung des Verlaufs von radioaktiven Transformationen vermittels α-Strahlen. Es erscheint uns keineswegs überflüssig, eine Bemerkung einzufügen über die Methoden, mittels welcher der Verlauf radioaktiver Umwandlungen gemessen wird bei Produkten, die entweder ausschließlich oder doch vorwiegend α-Strahlen aussenden. Wir haben gesehen, wie groß die Bedeutung der Dimensionen oder der geometrischen Form des Kondensators bei der Bestimmung der Absorption sein kann.

Ganz im Gegenteil sind wir vollständig berechtigt, den zeitlichen Abfall oder das Anwachsen der α-Strahlenemission eines aktiven Präparats in einer beliebig gestalteten und beliebig dimensionierten Ionisationskammer zu messen, vorausgesetzt, daß diese während der ganzen Messung ungeändert bleibt. Die so erhaltenen Resultate sind eindeutig, was aus dem im I. Teile unserer Studie bewiesenen Satze folgt, daß durch das Altern des Präparats die Strahlungsweite der emittierten Strahlung ungeändert bleibt, und sich nur die Anzahl der ausgesandten α-Partikeln ändert. Wenn sich aber im Laufe der Zeit der Charakter der Strahlung ändert, d. h. ein neues aktives Produkt mit anderer Strahlungsweite der α-Strahlen bilden sollte, so verschwindet die Unabhängigkeit der Resultate von der Form und Dimensionen der Ionisationskammer, und wir müssen dann, um richtige Data über die Änderung der Totalintensität der Strahlung zu bekommen, Ionisationsgefäße (Kondensatoren) anwenden, deren Dimensionen so groß sind, daß keine der α-Strahlungen bis zu den Wänden gelangen kann. Die allerdings weniger empfindliche Methode der Ionisationskurven führt auch in diesem Falle zu richtigen Resultaten, wie es klassisch Fig. 1 in der S. 630 sub 4 zitierten Arbeit

des Herrn Bragg für das Reifen des geglühten Radiums zu aktivem Gleichgewicht zeigt.

6. Einige weitere Versuche über die Absorption der α-Strahlung. Um den Charakter der Absorption bei chemisch komplizierteren Stoffen, als Metalle und Gase es sind, zu untersuchen, wurde nach Braggs Methode eine Ionisationskurve aufgenommen, wobei das Präparat mit einem Aluminiumblatt bedeckt war, auf welchem eine dünne Schicht von Kollodium aufgetragen war. Ebenso wie früher äußerte sich die Absorption durch Erniedrigung der Ionisationskurve. Weitere Berechnungen anzustellen war nicht möglich, da sich die Dicke der Kollodiumschicht nicht bestimmen ließ.

Da es nicht unmöglich ist, daß die α-Strahlung eine Sekundärstrahlung zur Folge hat, so wurden zwei Ionisationskurven aufgenommen, wobei zwei Blättchen — eins aus *Al*, das andere aus *Au* — zugleich zwischen das Präparat und den Röhrchenschirm eingeschoben waren, indem einmal das *Al*-Blatt, das zweitemal das *Au*-Blatt am aktiven Präparate auflag. Die beiden Kurven fielen in den Grenzen der Beobachtungsfehler fast vollständig überein, indem die Punkte auf dem geradlinigen Teile der Kurve eine Ordinatendifferenz von höchstens 0,3 mm zeigten, was schon ungefähr an der Genauigkeitsgrenze bei der Bestimmung des Abstandes zwischen dem Präparat und dem Kondensator liegt. Ein ähnliches Resultat ergab die Kombination *Pt*—*Al*. Daraus ist also zu folgern, daß, wenn eine bei verschiedenen Metallen verschieden intensive Sekundärstrahlung der α-Strahlen existiert, ihr Effekt nach dem Durchlaufen der Luftstrecke von 1,8 cm Länge und des elektrischen Feldes im Schutzkondensator kleiner ist, als daß er sich mittels der Methode der Ionisationskurven unzweideutig feststellen ließe. Allerdings muß aber zugegeben werden, daß diese Methode wegen der kleinen Neigung des geradlinigen Teiles der Kurven zur Abszissenachse zum Nachweise der Sekundärstrahlung wenig geeignet ist.

7. Über die Abhängigkeit der Absorption von der Geschwindigkeit der α-Strahlen. Um feststellen zu können, ob die Absorption der α-Strahlen in Metallen von ihrer Geschwindigkeit abhängig ist, wurden Ionisationskurven aufgenommen einmal, wenn das absorbierende Metallblättchen dicht auf dem aktiven Präparate auflag, und dann, wenn es auf die obere Platte des Schutzkondensators gelegt wurde. In diesem zweiten Falle lag der geradlinige Teil der Kurve stets und zwar um mehr als zwei mm höher als im ersten Falle, wie bei *Al*, *Cu* und *Pt* nachgewiesen wurde. Bei diesen Versuchen war aber die Entfernung des Blättchens vom Präparat veränderlich, also die Bedingungen des Versuchs kompliziert. Um dies zu umgehen, wurde ein Blechrähmchen mit kreisrunder Öffnung auf drei Füßchen konstruiert, welches mit dem Röhrchenschirm fest verbunden wurde, so daß das darauf festgeklebte absorbierende Blättchen in allen Lagen des Präparats sich in der konstanten Entfernung von 1,9 cm vom Radiotellur befand. Der Versuch mit einem Aluminiumblatt ergab, daß die Ionisationskurve, welche 0,71 cm unter der Luftkurve liegt, um 0,07 cm gehoben wird, wenn das absorbierende Metallblättchen in die konstante Entfernung von 1,9 cm vom Präparat gebracht wird; bei Platin verminderte sich dadurch die Erniedrigung der Kurve (0,963 cm) um 0,12 cm. Nach dem im § 6 angeführten Versuche mit der Umkehrung der Reihenfolge des *Al*-*Au*-Blattes kann man diesen Effekt — die Hebung der erniedrigten Ionisationskurve — nicht einer Sekundärstrahlung zuschreiben, weil diese z. B. bei Platin bis zu 100 Proz. der ursprünglichen Strahlung betragen müßte. Außerdem kann man nach den Versuchen von J. J. Thomson[1]), Rutherford[2]) und den weiter unten zu erwähnenden eigenen keine sekundäre β-Strahlung erwarten, die ein nennenswertes Durchdringungsvermögen hätte, und es müßte also dieselbe eine kleine Geschwindigkeit haben und sich durch ein elektrisches Feld leicht wegbiegen lassen. Wenn wir also das absorbierende Blatt auf die obere Platte des Schutzkondensators legen und in diesem ein elektrisches Feld hervorbringen und zwar in der Weise, daß die obere Platte einmal positiv, das andere Mal negativ geladen ist, so wird dieses Feld im ersten Falle die β-Sekundärstrahlen — falls welche überhaupt existieren — zurückhalten, im zweiten Falle aber beschleunigen und in den Meßkondensator hineintreiben. Die Ionisationskurven müßten in den beiden Fällen gegeneinander verschoben sein und zwar um wenigstens so viel, wie wenn das absorbierende Blatt einmal am Präparat, das andere Mal auf der oberen Platte des Schutzkondensators sich befindet, also in den Ordinaten um 2 mm. Ein sehr sorgfältig durchgeführter Versuch, wobei darauf geachtet wurde, daß das Feld im Schutzkondensator zwar eine Umkehr-, aber keine Intensitätsänderung erleide, ergab, daß die mögliche Ordinatendifferenz höchstens 0,2 mm betrug, was schon vollständig im Gebiete der Beobachtungsfehler liegt. Die Ursache, warum die Erniedrigung der Ionisationskurve kleiner ist, wenn das absorbierende Blättchen vom Präparate entfernt ist, liegt also in der Abhängigkeit der Absorption in Metallen

1) J. J. Thomson, Proc. Cambr. Phil. Soc. **13**, 39, 1905.
2) E. Rutherford, Phil. Mag. **10**, 193, 1905; cfr. Radioactivity, S. 151.

von der Geschwindigkeit der α-Strahlen. Nach den schon angeführten Zahlenangaben wird das Atomabsorptionsvermögen von Aluminium ungefähr um 10 Proz., von Platin um ca. 12,5 Proz. vermindert, wenn die Strahlen, bevor sie in das Metall eindringen, eine Strecke von 1,9 cm in der Luft zu durchlaufen haben. Dadurch ist aber nach den Messungen von Rutherford[1]) (an den α-Strahlen des Radium-*C*) ihre Geschwindigkeit um ca. 11 Proz. kleiner geworden. Diese numerische Übereinstimmung ist sehr bemerkenswert. Die langsameren Strahlen werden also weniger absorbiert. Das ist gerade das Gegenteil davon, was Frau Curie gefunden hat, daß die Strahlen desto absorbierbarer erscheinen, je dicker die schon durchstrahlte Schicht von Materie ist, und auch das Gegenteil zum Verhalten der β-Strahlen, wo nach Durchdringung von dicken Schichten schnellere Strahlen übrig bleiben, die weniger absorbierbar sind als die langsameren. In der S. 630 zitierten Arbeit von Bragg und Kleeman findet sich eine Bemerkung, die durch unsere Versuche aufgeklärt erscheint; es heißt dort (Seite 337): „Several other points arose in the course of the experiments, which deserve further inquiry. For instance, the metal films did not cause exactly the same drop throughout all the curve; the slower α-particles were a little less affected than the swifter."

Ein Punkt in der Diskussion unserer Resultate braucht noch eine Aufklärung: Bragg bestimmte die Atomabsorptionsvermögen mittels der α-Strahlung des Radium *C*, die in Luft eine Strahlungsweite von 7 cm hat und demnach aus um 12 Proz. schnelleren α-Partikeln besteht, als die Strahlung des Radiotellurs mit der Strahlungsweite von ca. 4,15 cm. Es sollten demnach seine Zahlen (die rund eingeklammerten Zahlen in Tabelle II) um ca. 12 Proz. größer sein als unsere und dennoch sind sie im Mittel um ca. 3 Proz. kleiner. Die einzige mögliche Erklärung liegt in der relativ kleinen Genauigkeit der Messungen und weiter darin, daß er Metallschichten benutzte, welche bis 3 und 4 cm Luft äquivalent waren, so daß die mittlere Geschwindigkeit der Strahlen im Metall von der unsrigen wenig verschieden war. Außerdem sind seine neueren Angaben (die eckig eingeklammerten Zahlen in Tab. 2), die wahrscheinlich mit dem Produkt des Radiums mit einer Strahlungsweite von ca. 4,8 cm erhalten wurden, von den älteren fast gar nicht verschieden.

Von einer Erscheinung, die möglicherweise einen Teil der Ursache darstellen könnte, warum die Ionisationskurve durch das Entfernen des Metallblättchens vom Präparat gehoben wird, — nämlich von der Zerstreuung der Strahlen beim Durchgang durch die Materie — wird im weiteren Teile unserer Studie die Rede sein.

8. Zur Braggschen Bestimmung der Atomabsorption von Gasen. Wenn wir die Atomabsorptionsvermögen als Funktion der mittleren Quadratwurzeln aus dem Atomgewicht graphisch auftragen, so entsteht, wie schon Bragg gefunden und wie aus dem § 1 dieser Abhandlung folgt, sehr nahe eine durch den Nullpunkt gehende gerade Linie. Seltsamerweise bekam Bragg eine gerade für Metalle und eine andere, weniger zur Achse der Quadratwurzeln geneigte für Gase. Auf Grund der Ausführungen im § 7 sind wir imstande dies zu erklären. Die Ursache liegt darin, daß bei der Bestimmung der Erniedrigung der Ionisationskurve von Metallen und Gasen nicht α-Strahlen derselben Geschwindigkeit benutzt wurden. Die Strahlungsweite der von Bragg benutzten Strahlen betrug ca. 7,0 cm, die mittlere Erniedrigung der Kurve bei Metallen ca. 2,8 cm, so daß die mittlere Geschwindigkeit der bei den Metallen benutzten Strahlen der Strahlungsweite $7-2{,}8/2 = 5{,}6$ cm entspricht, und nach Rutherford 0,944 V_0 beträgt, wo V_0 die Geschwindigkeit der Strahlen von 6,7 cm Strahlungsweite bedeutet. Bei den Gasen wirkt absorbierend die ganze zwischen Präparat und Kondensator befindliche Gasschicht, so daß die mittlere Strahlungsweite der benutzten Strahlen $7{,}0/2 = 3{,}5$ cm beträgt, was einer Geschwindigkeit von 0,85 V_0 entspricht. Die bei den Metallen benutzten Strahlen sind also um ca. 11 Proz. schneller und müssen also nach unseren Ausführungen zu einer um ca. 11 Proz. größeren Zahl für die Atomabsorption führen als bei den Gasen. Und wirklich ergibt sich aus der Fig. 3 auf Seite 337 der Braggschen Abhandlung (zitiert S. 360 sub 4), daß der Proportionalitätsfaktor zwischen Atomabsorption und mittl. Quadratwurzel aus dem Atomgewicht bei den Metallen, der gleich ist $3{,}95/3{,}5 = 1{,}13$ um ca. 11 Proz. größer ist als derjenige bei Gasen ($3{,}55/3{,}5 = 1{,}02$). Dadurch ist bewiesen, was eigentlich zu erwarten war, daß die Abhängigkeit (angenäherte Proportionalität) der Atomabsorption von der mittleren Quadratwurzel aus dem Atomgewicht dieselbe ist bei Metallen und Gasen und vom Aggregatzustand der Materie nicht beeinflußt wird.

9. Zusammenfassung der Resultate.

1. Die Absorption der α-Strahlung des Radiotellurs in Metallen und Gasen äußert sich — nach der Braggschen Methode untersucht — gerade so, wie die Absorption der α-Strahlen des Radiums und seiner Produkte, in der Erniedrigung der Ionisationskurve.

1) E. Rutherford, Phil. Mag. (6) **10**, 163, 1905.

2. Das Atomabsorptionsvermögen („stopping power") ist angenähert proportional der mittleren Quadratwurzel aus dem Atomgewichte und hat fast dieselben Werte wie beim Radium-*C*. Es erscheint sehr wahrscheinlich, daß der Proportionalitätsfaktor mit steigendem Atomgewicht etwas wächst.

3. Bei einem und demselben Gase (Luft) sind die denselben Geschwindigkeiten der α-Strahlen entsprechenden Strahlungsweiten den Drucken (Dichten) proportional.

4. Bei verschiedenen Gasen (Luft, O_2, CO_2) sind die denselben Geschwindigkeiten der α-Strahlen entsprechenden Strahlungsweiten sehr genau umgekehrt proportional mit den mittleren Quadratwurzeln aus den Atomgewichten.

5. Die von Frau Curie und Herrn Rutherford angewandte Meßmethode ist zur Bestimmung physikalischer Konstanten über die Absorption der α-Strahlen wenig geeignet, da es sich um Gemische von α-Strahlen sehr verschiedener Geschwindigkeiten handelt. Die früheren Resultate lassen sich leicht aus der Form der Ionisationskurven erklären.

6. Die zur Bestimmung des Verlaufs radioaktiver Transformationen mittels α-Strahlen bisher angewandte Methode ergibt eindeutige Resultate, wenn die Form und die Dimensionen der Ionisationskammer und des Präparats, sowie der Charakter und somit die Strahlungsweite des Präparats innerhalb der Messung sich nicht ändern.

7. Die Absorbierbarkeit der α-Strahlen ändert sich mit ihrer Geschwindigkeit und ist wahrscheinlich derselben proportional; die Atomabsorption wächst mit wachsender Geschwindigkeit der Strahlen.

8. Die Abhängigkeit der Atomabsorption von der mittleren Quadratwurzel aus dem Atomgewicht ist dieselbe bei Metallen und Gasen und wird vom Aggregatzustand der Materie in keiner Weise beeinflußt.

Herrn Hofrat Prof. Dr. Strouhal gebührt unser aufrichtigster Dank, daß er uns gestattete, die Versuche in seinem Institut auszuführen.

Phys. Institut der böhm. Universität Prag, Anfang Juni 1906.

(Eingegangen 24. Juli 1906.)

Die Möglichkeit einer durch zentrifugale Beschleunigung erzeugten elektromotorischen Kraft.

Von E. F. Nichols.

Die Elektronentheorie weist auf drei Vorgänge hin, nach denen die Leitung von Elektrizität in Metallen stattfinden kann: Erstens können nämlich die negativen Ladungen beweglich und die positiven fest sein, zweitens können die positiven Ladungen beweglich und die negativen fest und drittens schließlich können beide Ladungen in demselben oder in verschiedenem Maße beweglich sein und an der Leitung teilnehmen.

Wenn wir von den positiven und negativen Ladungen annehmen, daß sie im freien Zustande in einem Metall die Trägheit besitzen, mit denen wir sie bei der Entladung in Gase verbunden finden, und daß ferner die Leitfähigkeit irgendeines Metalles ein Maß für die Beweglichkeit der Ionen und die Anzahl der freien Ladungen pro Volumeinheit ist, so könnten wir erwarten, daß die Verteilung der freien Ladungen in einem metallischen Körper durch mechanische Beschleunigungen sowie durch rein elektromotorische Kräfte beeinflußt würde.

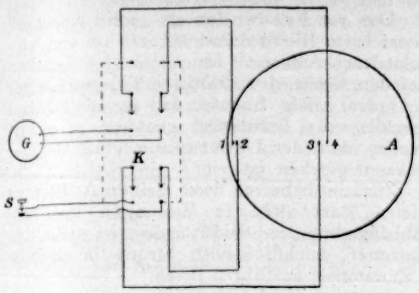
Die Annahme, daß die Verhältnisse $\frac{e}{m}$, die man bei Gasen findet, auch für freie positive und negative Ladungen in einem Metall gelten, wird durch die Beobachtung bekräftigt, daß stets dann, wenn derartige Ladungen aus Metallen in ein Gas hineingetrieben werden, gleichviel ob durch elektromotorische Kraft wie bei Kanal- und Kathodenstrahlen, durch Wärme, ultraviolette Strahlung, Röntgenstrahlen oder durch radioaktive Vorgänge, diese Verhältnisse im wesentlichen von derselben Größenordnung, wie die in ionisierten Gasen gefunden sind.

Wenn wir eine schnell rotierende Metallscheibe betrachten, so kann die zwischen dem Mittelpunkt und dem Rande zu erwartende Potentialdifferenz leicht abgeschätzt werden, wenn wir annehmen, daß entweder das positive oder das negative Ion fest und das andere beweglich ist. Wenn daher r der Radius, ω die Winkelgeschwindigkeit der Scheibe, und m die Masse des freien Ions ist, so stellt $\frac{mr^2\omega^2}{2}$ die mechanische Arbeit dar, die gegen die Zentrifugalkräfte bei der Beförderung des Ions von dem Umfange nach dem Mittelpunkte der Scheibe ausgeübt wird. Wenn dann V die angenommene zentrifugale Potentialdifferenz zwischen Mittelpunkt und Rand und e die Ladung des Ions ist, so erhalten wir

$$V = \left(\frac{m}{e}\right)\frac{r^2\omega^2}{2}.$$

Wenn wir annehmen, daß bei dem negativen Ion $\frac{e}{m} = 10^{-7}$ ist und 10^{-4}, der größte bisher beobachtete Wert, für das positive Ion gilt, wenn ferner $r = 10$ cm und n, die Anzahl der Umdrehungen pro Sekunde, 100 beträgt, so ist V für das negative Ion ungefähr 10^{-8} Volt und 10^{-5} Volt für das positive.

Bei dem von mir unternommenen Versuche wurde eine Aluminiumscheibe A (Fig. 1) von



21 cm Durchmesser und 4 mm Dicke auf die Welle einer Luftturbine aufgesetzt und mit hoher Geschwindigkeit zur Rotation gebracht. Vier Kontaktbürsten 1, 2, 3 und 4 aus Aluminiumdraht berührten, wie angegeben, die Scheiben längs eines Durchmessers. Um jede Potentialdifferenz zwischen Mittelpunkt und Umfang auszuschalten, die etwa auf Rechnung der Rotation der Scheibe im Magnetfeld der Erde hätte kommen können, wurde die Ebene der Scheibe in dem magnetischen Meridian angebracht und die Kontakte auf eine Linie eingestellt, die senkrecht zu der Richtung der gesamten Magnetkraft war.

Mit Hilfe des Kommutators k konnte das eine oder andere der beiden Kontaktpaare 1,4 und 2,3 durch das Galvanometer G miteinander verbunden und das andere Paar nach Wunsch durch den Schlüssel S kurz geschlossen werden. Zu jeder Zeit konnte der Widerstand in den beiden Stromkreisen durch eine einfache nicht angegebene Verbindung gemessen werden, durch die der eine oder andere zu einem Zweig der Wheatstoneschen Brücke gemacht werden konnte. Bei diesen Widerstandsmessungen wurde die in die Brücke eingeführte Potentialdifferenz niemals größer als 10^{-6} Volt, eine mit der bei dem Experiment gesuchten vergleichbare elektromotorische Kraft. Diese Widerstände wurden sowohl dann gemessen, wenn die Scheibe ruhte, als auch dann, wenn sie mit voller Geschwindigkeit lief. Die Widerstände bei feststehender Scheibe variierten zwischen 0,5 und 2 Ohm und bei Rotation mit voller Geschwindigkeit zwischen 5 und 15 Ohm. Die Zunahme des Widerstandes bei bewegter Scheibe kam fraglos auf Rechnung von Vibrationen, die die Bürsten daran hinderten, die Scheibe fortdauernd zu berühren.

Das Galvanometer G war von der Thomsonschen 4-Spulenform; es war für den Versuch eigens konstruiert und mit 5 Zylindern aus weichem Eisen kräftig gepanzert. Sein Widerstand betrug in der benutzten Form 1,4 Ohm und seine volle Periode 3 Sekunden, während seine Empfindlichkeit zwischen 2 und 3×10^{-10} Ampere pro Skalenteil Ablenkung variierte.

Vor der Ausführung der Beobachtungen zum Zwecke der Feststellung des gesuchten Zentrifugalpotentials wurde die Scheibe in Bewegung gesetzt und allmählich zu ihrer Normalgeschwindigkeit (100 oder mehr Umdrehungen in der Sekunde) gebracht. Die Widerstände beider Kontaktkreise wurden gemessen und ein Kontaktkreis durch das Galvanometer hindurch geschlossen, während der andere durch den Schlüssel hindurch geschaltet wurde. Die Beobachtungen wurden in der Weise ausgeführt, daß man die Einwirkung auf die Galvanometerablenkung beobachtete, die durch ein momentanes Schließen des Schlüssels S verursacht wurde. Jeder auf Rechnung eines Zentrifugalpotentials kommende Strom im Galvanometer würde auf diese Weise durch den Schlüssel hindurch kurzgeschlossen und eine entsprechende Veränderung der Ablenkung beobachtet worden sein.

Diese Methode wurde gewählt, um so weit wie möglich die großen thermoelektrischen Störungen auszuschalten, die durch die Reibung der Bürsten an der Scheibe verursacht wurden.

In einem Apparat wie der eben beschriebene ist der Temperaturunterschied zwischen Mittelpunkt und Rand der Platte, soweit er lediglich auf Rechnung der Luftreibung kommt, nur gering, und die Erhitzung der ganzen Peripherie der Scheibe durch die Reibung der Bürsten kann kaum ein Hundertstel des Wärmeeffekts an den Bürsten selbst betragen. Der Hauptsitz thermoelektrischer Kräfte würde daher zwischen den äußeren Bürsten und der Scheibe liegen. Wenn demnach die Kontakte 1 und 4 durch das Galvanometer hindurch geschlossen sind, so würde der sich ergebende Wärmestrom durch Schließen des Schlüssels S und Kurzschließen der Kontakte 2 und 3 nicht beeinflußt werden, da eine elektromotorische Kraft zwischen der Bürste 1 und der darunter befindlichen Platte durch diese Nebenleitung nicht entladen werden kann. Außerdem ist der Widerstand der Platte so niedrig und der Kontaktwiderstand 2 und 3 im Vergleich dazu so groß, daß der gesamte Widerstand im Galvanometerstromkreis durch Schließen von S nicht merklich verändert werden würde.

Die einzige thermische elektromotorische Kraft, deren Strom durch Schließen der Nebenleitung aus dem Galvanometer hätte teilweise ausgeschaltet werden können, würde die Thomsonsche elektromotorische Kraft in der Platte selbst sein, die auf Rechnung von Temperatur-

differenzen zwischen Mittelpunkt und Rand der Scheibe kommt. Die Absicht, diese Wirkung zu verkleinern, war der einzige Grund, weswegen ich eine Aluminiumplatte wählte, da Aluminium für einen derartigen Zweck manchen Nachteil besitzt. Es steht jedoch, was die Reinheit dieses Thomson-Effektes anbelangt, dem Blei (ein Material, das für den vorliegenden Versuch ganz ungeeignet war) am nächsten.

Während der Bewegung der Scheibe wurde das Galvanometer stets aus seiner Nullstellung bedeutend abgelenkt und zwar oft um 500 Skalenteile und darüber. Die Ablenkung variierte fortdauernd und manchmal auch plötzlich um 100 Teilstriche. Diese veränderliche Ablenkung wurde durch die thermoelektromotorische Kraft und den Kontaktwiderstand erzeugt. Als Ergebnis vieler Beobachtungen wurde jedoch keine beständige Ablenkung von mindestens 15 Skalenteilen (der kleinsten Veränderung, die sich mit Sicherheit hätte feststellen lassen) bei dem Herabdrücken der Schlüssel beobachtet.

Wenn wir das positive Ion als frei und das negative als fest ansehen und den ungünstigsten Fall annehmen, daß nämlich die Masse des negativen Ions im Aluminium nicht größer als die eines Wasserstoffatoms ist, was ein Zentrifugalpotential von 10^{-5} Volt ergeben würde, so müßte bei den Versuchsbedingungen ein Schließen des Stromschlüssels eine Veränderung der Galvanometerablenkung von der Größenordnung von 1000 Skalenteilen ergeben haben.

Wenn daher die Annahmen, auf denen die vorliegenden Versuche beruhen, richtig sind, so zeigt das Ergebnis, daß die positiven Ionen nicht die Hauptträger des elektrischen Stromes im Aluminium sind.

Der Apparat in seiner gegenwärtigen Form ist weder von genügender Empfindlichkeit noch von der erforderlichen Stabilität, um ein Zentrifugalpotential von 10^{-8} Volt festzustellen, wie dies die Annahme freier negativer und fester positiver Ionen erfordert. Eine neue Rotationsvorrichtung, die größere Rotationsgeschwindigkeit und höhere Stabilität zu erreichen ermöglicht, wird augenblicklich konstruiert, und mit ihrer Hilfe besteht einige Hoffnung, eine befriedigende Antwort auf letztgenannte Annahme zu erhalten, wie sie mit der vorliegenden Versuchsanordnung nicht erzielt werden konnte.

Ich bin Herrn Dr. S. R. Williams für seine geschickte und geduldige Unterstützung bei dem bisherigen Fortgang dieses schwierigen Versuches zu Danke verpflichtet.

Phönixsche physikalische Laboratorien der Columbia-Universität New York, Juli 1906.

(Aus dem Englischen übersetzt von Alfred Gradenwitz.)

(Eingegangen 30. Juli 1906.)

Beiträge zur Kenntnis des Barretters.

Von K. E. F. Schmidt.

Das von Fessenden als „solid barretter" bezeichnete Hitzdrahtinstrument[1]) ist von verschiedenen Autoren[2]) für quantitative Arbeiten auf dem Gebiet der drahtlosen Telegraphie mit so gutem Erfolg benutzt, daß es mir lohnend erschien, das Instrument genauer zu untersuchen, da in der Literatur kaum etwas darüber bekannt gegeben ist.

Zunächst habe ich durch meinen Assistenten Herrn Rautenkrantz Messungen über die Abhängigkeit der Widerstände von dem den Barretter durchfließenden Strom in meinem Laboratorium ausführen lassen.

Aus einer Zahl von 20 von uns hergestellten Barrettern wurden zwei herausgegriffen (Nr. 35 und 36) und für diese mit Hilfe eines Feußnerschen Kompensationsapparates der Widerstand bei Stromdurchgang bestimmt.

Die Tabelle I gibt die erhaltenen Resultate:

Tabelle I.

Belastungsstrom	B_{35}	B_{36}	ϑ
i=0,00 350$_7$ Amp.	w=51,794 Ohm	w=42,875 Ohm	17 °C
395$_7$ „	55,789 „	45,869 „	16,6 „
438 „	61,014 „	50,136 „	16,6 „
491 „	67,488 „	56,109 „	16,6 „

Tabelle II.

Belastungsstrom	B_{35}	B_{36}	Temperatur d. Bades ϑ_u	ϑ_o
i=0,00 387 Amp.	w=57,371 Ohm	w=47,615 Ohm	52,8	53.5
			53.3	54.0
423$_9$ „	61,603 „	51,098 „	53,6	54.3
496$_3$ „	69,892 „	58,791 „	53,8	54.5

Für den praktischen Gebrauch ist die Kenntnis der Beziehung zwischen Widerstand und Außentemperatur von Wichtigkeit, daher wurden außer den oben genannten bei 16,6°C gemachten Messungen auch solche bei 54° ausgeführt. Die Barretter waren bei diesen Versuchen in ein Petroleumbad gestellt, dessen Temperatur am Boden ϑ_u und an der Oberfläche ϑ_o gemessen wurde. Tabelle II gibt die Resultate.

1) Über die Herstellung solcher Barretter siehe Elektrotechn. Zeitschrift 1903, S. 589. Die von mir hergestellten Barretter enthalten einen Wollastondraht in Schleifenform, bei dem unteren Teil ist durch Säure der Silbermantel fortgebeizt, so daß ein Platinkern von ca. 0,003 mm Dicke und 5—6 mm Länge übrig bleibt. Der Draht befindet sich im Vakuum. Für die Messung größerer Energiemengen habe ich auch Barretter mit Drähten von 0,02 mm Stärke hergestellt.

Zum Zwecke der Messung der Intensität elektrischer Wellen werden die Barretter in zwei Zweige einer Wheatstoneschen Brücke geschaltet; in den anderen Zweigen befinden sich außer den Widerständen noch Drosselspulen.

2) Fessenden, siehe darüber Elektrotechn. Zeitschr. 1902, S. 586 f.

Tissot, Journ. de phys. (4) **3**, 525, 1904; L'éclairage électrique 1904, S. 392.

Aus den Tabellen I und II folgt, daß mit zunehmender Außentemperatur der Widerstand um 0,057 Ohm pro 1° C bei Nr. 35 und um 0,064 Ohm bei Barretter 36 d. h. um 0,087 % bezw. 0,12 % steigt (Stromwert $i = 0{,}00438$ Amp.).

Für den Gebrauch müssen wegen dieser Änderungen die Barretter paarweise benutzt werden; man schaltet sie nach Langleys Vorgang wie beim Bolometer in zwei Zweige einer Wheatstoneschen Brücke. Hierfür ist nun die Kenntnis der Änderung des Widerstandsverhältnisses mit der Außentemperatur von Interesse. Aus den mit Hilfe der Tabellenwerte gezeichneten Kurven ergibt sich für $i = 0{,}00438$ Ampere $\frac{w_{35}}{w_{36}} = 1{,}217$ bei 16,6° C und $= 1{,}203$ für 54° C somit eine Abnahme um 0,00037 für 1° C d. h. 0,04 %.

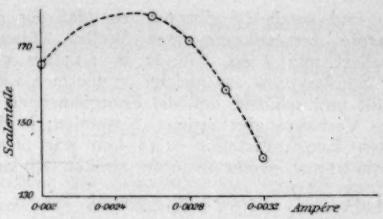
Für die exakte Bestimmung der absoluten Stromstärken, welche dem Barretter zugeführt werden müssen, um bestimmte Ausschläge im Brückengalvanometer zu erzeugen, sind meine Untersuchungen noch nicht beendet.

Die Barretter werden von mir seit einem halben Jahre benutzt, um eine Reihe von Fragen auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie zu bearbeiten. Ich habe ihre Meßempfindlichkeit dadurch erheblich gesteigert, daß ich den Strom der Wheatstoneschen Brücke so weit erhöhte, daß im Barretterzweig ca. 0,003 Ampere flossen.

Die erzielte Empfindlichkeit ist wohl am besten dadurch gekennzeichnet, daß es mir gelang, noch 8 km von der Sendestation tadellose Resonanzkurven eines gekoppelten Sendesystems zu erhalten.[1])

Nachträglich habe ich gesehen, daß schon Herr Braun[2]) in einer Notiz über Thermophonie das der Methode zugrunde liegende Prinzip entwickelt hat.

Praktisch läßt sich jedoch auf diesem Wege eine beliebig hohe Steigerung der Empfindlichkeit nicht erzielen; einmal wird bei höheren Strombelastungen die 0-Punkteinstellung im Galvanometer inkonstant, zweitens wächst der Widerstand des Barretters so hoch an, daß wenigstens für direkte Einschaltung des Barretters in den Empfangskreis die Dämpfung zu stark wird. Versuche, welche ich nach dieser Richtung durchführte, ergaben ein Optimum der Stärke des zu verwendenden Brückenstroms; die Kurve der Fig. 1 stellt die Maximumpunkte der Resonanzkurven einer mit reiner Marconi-Schaltung erzeugten Schwingung in ihrer Abhängigkeit von dem den Barretter



durchfließenden Brückenstrom dar; dieser Strom ist als Abszisse, die zugehörigen Ausschläge am Galvanometer sind als Ordinaten aufgetragen. Die Kurven sind aufgenommen in einem ca. 350 m von der Sendestation entfernten Empfangskreis — enthaltend einen 15 m hohen Luftleiter, eine Abstimmspule und den am einen Ende geerdeten Barretter. Das Optimum liegt etwa bei 0,0025 Amp.; nahezu den gleichen Wert des Optimums erhielt ich bei einem anderen Barretter. Soweit ich bis jetzt ermittelte, spielt auch die Dämpfung im übrigen Teile des Empfangskreises eine Rolle.

Wieweit sich nach dieser Richtung die Empfindlichkeit der Barretter steigern läßt, soll eine im Gang befindliche Untersuchung klarlegen.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit auf einen Fehler hinweisen, den Herr Tissot[1]) begeht bei der Bestimmung des Gesetzes für die Abnahme der von einem Sender ausgestrahlten Energie mit der Entfernung. Er kommt durch fehlerhafte Interpretation seiner Meßresultate zu dem Schluß, daß die Intensität der Wellen dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional abnimmt.

Nennen wir für Stromlosigkeit in dem Galvanometerzweig — Barretter-o-Punkt — der Wheatstoneschen Brücke

i_B den Strom im Barretterzweig (Widerstand dieses Zweiges) $= \Sigma w_B$,

i_w „ „ „ Zweig der Vergleichswiderstände $= \Sigma w$,

$i_B + i_w = \mathcal{J}$ den gesamten der Brücke zugeführten Strom,

so ist

$$i_B = \mathcal{J} \frac{\Sigma w}{\Sigma (w + w_B)}.$$

Wird jetzt durch die Stromstärke der ankommenden Wellen der Widerstand des in den Empfangskreis geschalteten Barretters um Δw erhöht, so fließt im Galvanometer (Widerstand $= w_g$) ein Strom i_g, dessen Stärke in erster Annäherung gesetzt werden kann

$$i_g = \frac{\Delta w}{w_g} \frac{\Sigma w}{\Sigma (w + w_B)} \cdot \mathcal{J}.$$

1) Die mit Hilfe einer 25 m hohen Harfe aus 6 Drähten erhaltenen Kurven haben am Resonanzpunkt bis 178 Skalenteile Ausschlag an einem Deprez-d'Arsonval-Galvanometer, dessen Spulenwiderstand 150 Ω betrug, ergeben.

2) F. Braun, Annalen d. Physik **65**, 358.

1) Tissot, Sur la valeur de l'énergie mise en jeu dans une antenne réceptrice à différentes distances. Académie des Sciences (Paris) 14. März 1904.

Δw und somit ig gibt nur ein Maß für die Energie der ankommenden Welle. Tissot reguliert nun $\mathcal{J}$ so, daß er in 1,15 km von der Sendestation das gleiche ig wie in 8,9 km erhält und schließt, daß die Energiemengen in dem Verhältnis der Ströme $\mathcal{J}$ ständen; in der ersten Empfangsstation (1,15 km) war dieser Strom 61 mal kleiner als in der zweiten (8,9 km), und da $\left(\frac{8,9}{1,15}\right)^2 = 60,2$ ist, kommt Tissot zu dem oben angeführten Schluß.

Aus den oben mitgeteilten Beobachtungen sieht man, daß sowohl w_B wie auch der Quotient $\frac{\text{Widerstandszunahme}}{\text{Stromzunahme}}$ stark mit dem Barretterstrom veränderlich sind. Es wird daher sowohl Δw wie $\Sigma(w + w_B)$ mit geändertem $\mathcal{J}$ verändert und daher die Tissotsche Schlußfolgerung hinfällig, da Tissot Δw allein als Funktion der ankommenden Energie und zwar dieser proportional setzt und $\Sigma(w/\Sigma w + w_B)$ als konstant annimmt.

Da ferner nicht hervorgehoben ist, daß Tissots Antennenharfen für den Empfang bei beiden Stationen in absolut gleicher Höhe über dem Boden angebracht waren, so entzieht es sich der Beurteilung, ob eine wichtige Fehlerquelle vermieden ist. Nach meinen diesbezüglichen Beobachtungen genügt eine Änderung in der Höhe der Harfe um 10 cm, um den Ausschlag im Galvanometer um ca. 1,6% zu ändern. Es ist daher wichtig, diesem Punkte größte Beachtung zu widmen.

Versuchsstation Halle a. S.-Cröllwitz, 3. August 1906.

(Eingegangen 5. August 1906.)

Notiz über einen elektrischen Ofen.

Von P. Albert Schwarz.[1])

Mit einer Arbeit über die Bestimmung des Verhältnisses der spezifischen Wärmen von Gasen nach der Methode der Kundtschen Staubfiguren beschäftigt, benütze ich einen elektrischen Ofen, der den Vorteil hat, daß man innerhalb gewisser Grenzen jede beliebige Temperatur herstellen kann.

Meine Versuchsanordnung bringt es mit sich, daß ich einen ziemlich weiten und langen Ofen verwenden muß, um eventuell auch größere Schallröhren benützen zu können. Der Ofen besteht aus einem 6 cm weiten und 80 cm langen Rohr von mittelstarkem Eisenblech. An zwei Stellen befinden sich je zwei gegenüberliegende Fensteröffnungen, die ein Beobachten der Wellen während des Versuches

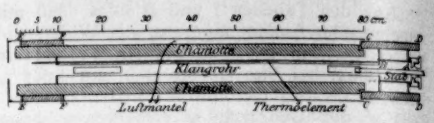


Fig. 1.

gestatten. Diese Fensteröffnungen sind mit Glimmer gedeckt, und dann das Rohr unter Freilassung der Fensteröffnungen mit Asbestpappe umkleidet. Über die Asbestpappe ist die Heizspirale aus 0,75 mm dickem Nickeldraht mit einer Ganghöhe von 3 mm gelegt. Die Spirale ist auch über die Glimmerfenster hinweggeführt. Als Wärmeschutz und Isolation der Windungen der Spirale gegeneinander verwandte ich Schamotte, die ich in einer 3 cm dicken Schicht auftragen ließ, wobei über den Fenstern schachtförmige Öffnungen blieben, welche außen wiederum mit Glimmer gedeckt wurden. Dann wurde der ganze übrige Ofen nochmals in mäßig dicke Asbestpappe gehüllt. Da aber die Wärmeausstrahlung noch immer sehr bedeutend war, schob ich über den bisher beschriebenen Ofen ein Rohr aus Eisenblech und befestigte mittels schmaler Asbeststreifen den Ofen darin so, daß derselbe ringsum in einem Abstand von ungefähr 2 cm von dem Blechmantel umgeben ist. Kalähne[1]) empfiehlt als Isolation Asbestschnur statt Schamotte. Ich konnte jedoch wegen der Fensteröffnungen von diesem Material keinen Gebrauch machen.

Eine Untersuchung des Ofens auf gleichmäßige Temperatur ergab jedoch auch jetzt noch kein befriedigendes Resultat (vgl. Kurventafel Fig. 3, Nr. 2; in derselben bedeuten die Abszissen die Abstände von dem einen Ende des Ofens, die Ordinaten die Temperatur). Denselben so lang zu machen, daß ich in der Mitte eine hinlängliche Strecke gleichmäßiger Temperatur erwarten durfte, schien mir wegen des starken Verbrauchs elektrischer Energie nicht gut durchführbar. Außerdem wollte ich mir die Möglichkeit sichern, leicht an das Ende des tönenden Stabes gelangen zu können, was ich

1) Kalähne, Ann. d. Phys. (4) 11, 259, 1903.

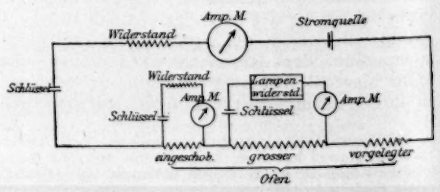


Fig. 2.

1) Mitgeteilt aus dem physikal. Institut der Universität Erlangen.

nur dadurch erreichen konnte, daß ich an der betreffenden Stelle den Ofen teilbar herstellte. Der Wärmeabfall an den Enden des Ofens hätte nach Holborn und Day[1]), sowie nach Kalähne[2]) durch engere Wickelung der Spirale gegen die Enden hin etwas vermindert werden können. Ich habe eine andere Anordnung versucht, um die Wärmezufuhr an den Enden des Ofens zu regulieren und nach mehreren Versuchen den Ofen konstruiert wie folgt:

Der große Ofen, wie er oben beschrieben ist, blieb. Rechts setzte ich einen kurzen Ofen *CD* vor (s. Fig. 1), der etwas größeren Durchmesser hat, aber mit dünnerem Draht (0,5 mm) gewickelt ist. In diesem Ofen befindet sich, mittels Stellringen festgeschraubt, ein Messingrohr *AB*, das, bei *A* schließend, den tönenden Stab an einem Knotenpunkt festhält. Bei *B* ist ein Messingrohr angeschraubt, das zur Aufnahme der Klangröhre dient. Dicht daneben läuft ein engeres Führungsrohr für das Thermoelement.

Am anderen Ende des großen Ofens habe ich zwischen Schamotte-Isolation und Blechmantel einen kleinen Ofen *EF* mit Wicklung aus 0,5 mm dickem Nickeldraht über den großen Ofen hereingeschoben. Die Schaltung ist aus Fig. 2 zu ersehen. Dadurch, daß ich die angegebenen kleinen Hilfsöfen durch Nebenschlußregulierungen beliebig stärker bzw. schwächer heizen kann als den Hauptofen, ist es mir möglich, den Temperaturabfall des letzteren gegen die Enden hin so weit zu kompensieren, als es für meine Versuche nötig erscheint.

1) Holborn u. Day, Wien. Ann. **68**, 846, 1899.
2) Kalähne, l. c., S. 258.

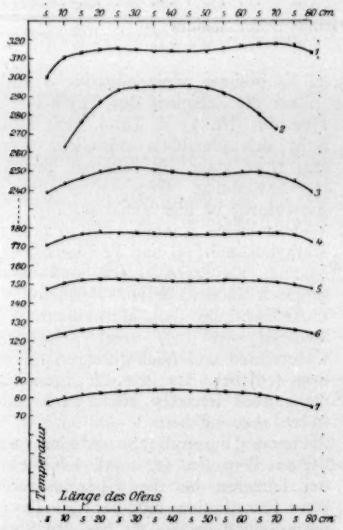


Fig. 3.

Kurventafel (Fig. 3).

Auf der Kurventafel zeigt Nr. 2 die Einstellung der Temperatur bei Heizung ohne Anwendung von Hilfsöfen. Die Temperatur ist nur im mittleren Drittel des Ofens gleichmäßig. Nr. 1 und 3 geben Kurven an von Untersuchungen, bei denen die kleinen Öfen etwas überheizt waren. Die Temperatur an den Enden des Ofens ist hier sogar höher als in der Mitte. Die übrigen Kurven, besonders Nr. 6, ergeben ein befriedigendes Resultat; bei Nr. 7 waren die Hilfsöfen etwas zu wenig geheizt. Bemerken will ich noch, daß es bei höheren Temperaturen schwieriger wird, die Hilfsöfen passend abzugleichen.

(Eingegangen 4. August 1906.)

Über die Zähigkeit von unterkühlten Lösungen in Thymol.

Von C. Schall.

Vor längerer Frist wurde in vorliegender Zeitschrift über dieses Thema berichtet.[1]) Die Anzahl der obengenanntem Phenol zugesetzten Substanzen war aber damals zu gering, um gewisse, allgemeine Schlüsse ziehen zu können.

Dies ist nun, mit unwesentlichen Abänderungen der schon länger veröffentlichten Untersuchungsmethode[2]) inzwischen nachgeholt und die folgenden Tabellen (I) und (II) mögen teils als Ergänzung der letzten Mitteilung, teils als kurze Zusammenfassung der bisher an einem Lösungsmittel erhaltenen Ergebnisse gelten (bis zu eingehenderem Vergleich mit einem zweiten).

In der ersten Steilspalte stehen die Namen aller in Thymol aufgenommenen Substanzen. Von der guten Reinigung der benutzten Präparate scheint die Beständigkeit der unterkühlten Lösungen und die Übereinstimmung der mit identischem Material verschiedener Herkunft erzielten Ergebnisse zuweilen recht abhängig. — Unter p befindet sich der in 100 Gramm aufgenommene Körper. — Bei frisch bereitetem Gehalt (nicht unter Benutzung eines anderen) steht kein (v) davor, ein entsprechendes (p) bedeutet den gleichen, aber auf eine andere Art gereinigten Zusatzstoff der vorgehenden Horizontalzeile. Unter ϑ_0—ϑ_1 sind die benutzten höchsten und tiefsten Temperaturen, daneben die entsprechenden Δ-Werte $= \Delta_0 - \Delta_1$ und der

1) **3**, 62, 1901.
2) Meist in bezug auf sehr flüchtige Verbindungen.

Tabelle I.

Gel. Substanz	p	n_{20}	$\vartheta_0-\vartheta_1$	$\Delta_0-\Delta_1$	Δ_{20}	g
1. Meth.-Formiat	4,34	0,675	18,45/25,00	7,35— 7,16	7,29	6,15
	6,52	0,994	„ / „	11,0 —10,7	10,9	9,24
	(*v*) 9,67	1,43	„ / „	15,4 —14,8	15,3	13,7
2. I-Butyl-Formiat	3,33	0,307	13,70/39,83	2,96 — 2,49	2,82	2,78
	7,02	0,622	19,88/ „	5,82— 5,32	5,82	5,85
	7,41	0,654	„ /36,35	6,41— 5,34	6,41	6,18
	(*v*) 18,50	1,47	5,86/ „	15,3 —13,3	14,6	15,4
3. Methyl-Acetat	3,95	0,499	19,98/33,07	5,24— 4,86	5,24	4,54
	8,55	1,03	„ / „	10,9 —10,2	10,9	9,82
	8,08		22,00/25,00	10,4 —10,3		9,28
4. Äthyl-Acetat	3,70	0,394	16,20/24,30	3,94— 3,93	3,93	3,57
5. I-Butyl-Acetat	7,00	0,545	16,45/36,35	5,15— 4,51	5,08	5,12
	12,70	0,938	16,16/30,00	8,93— 8,36	8,72	9,30
6. Äthyl-Prop.	4,47	0,407	16,98/33,07	4,36 — 4,10	4,28	3,73
	7,28	0,645	18,23/33,07	6,51— 6,01	6,46	6,07
7. Propyl-Prop.	4,61	0,369	20,00/33,00	3,59— 3,31	3,59	3,38
	10,49	0,791	„ /30,00	8,11— 7,77	8,11	7,69
8. I-Amyl-Prop.	2,58	0,168	20,80/26,94	1,53— 1,47	1,56	1,52
	5,58		15,75/27,26	3,25— 3,16	3,15	3,29
	11,10	0,668	14,75/30,09	6,52— 6,06	6,43	6,55
	17,07	0,971	13,72/27,30	10,4 — 9,57	10,0	10,1
9. Methyl-Butyrat	3,43	0,316	17,00/40,00	3,32— 2,67	3,20	2,86
	(*p*) 3,63	0,334	17,61/40,00	3,45— 3,22	3,42	3,03
	3,77	0,346	15,36/36,67	3,67— 3,12	3,58	3,14
	(*v*) 6,5	0,581	19,37/35,07	5,96— 5,37	5,91	5,42
	(*v*) 12,5	1,054	16,53/30,25	10,7 — 9,70	10,5	10,4
10. I-Butyl-Butyrat	4,97	0,323	18,40/50,00	2,87— 2,12	2,78	2,93
	(*v*) 10,31	0,626	„ / „	5,61— 4,21	5,55	6,09
11. I-Amyl-Butyrat	2,63	0,151	16,63/50,00	1,48— 0,72	1,34	1,42
	(*p*) 7,68	0,434	20,00/30,00	3,84— 3,60	3,84	4,13
12. Methyl-I-Valer.	4,59	0,367	18,40/33,00	3,50— 3,14	3,42	3,36
	(*v*) 9,60	0,730	„ / „	7,66— 6,90	7,53	7,04
13. Äthyl-I-Val.	4,06	0,291	15,61/39,65	2,83— 2,53	2,72	2,66
	10,12	0,683	10,00/34,00	6,91— 6,20	6,65	6,62
14. Methylbenzoat	5,25	0,359	20,00/30,00	1,76— 1,65	1,76	3,28
	(*v*) 11,45	0,789	„ / „	3,70 — 3,44	3,70	7,16

zu 20° gehörende $= \Delta_{20}$ aufgezeichnet. Zum Vergleich folgt wie früher g die Gefrier-Depression. Die dazu nötige, van't Hoffsche, kryoskopische Konstante wird für Thymol verschieden angegeben (s. Landolt-Börnstein, 3. Aufl. 503). Verwendet wurde die Zahl 85 (l. c.), welche sich ohne besondere Vorsichtsmaßregeln mittels *I*-Amylpropionat einstellte.

Die Tabellen ergeben folgendes, zunächst bez. der Zahlen unter $\Delta_0-\Delta_1$.

1. Die Abnahme der Δ mit ϑ, welche für die Halogenide und Kohlenwasserstoffe durchschnittlich innerhalb der Fehlergrenzen bleibt, tritt allgemein bei den Estern auf (s. auch l. c.), z. T. mindestens ebenso stark als bei diesen dürfte sie bei den übrigen Körpern sein.

2. Der Vergleich der zweiten und fünften Steilspalte lehrt, daß die Δ stets mehr oder weniger p proportional bleiben, anscheinend noch etwas genauer dem Gehalt im Volum (nach besonderen Versuchen; n_{20} = Mole i. Lit. v. 20°).

Der Überblick der Δ_{20} zeigt weiter:

3. a) Es besitzen allein negative Δ und erhöhen daher die Zähigkeit des Thymols: Piperidin (Nr. 33 d. Tab.). Die Lösung färbt sich allmählich bräunlich. Pyridin (32) trotz mehr als zehnmal geringerer innerer Reibung. Gegenseitige chemische Einwirkung ist hier denkbar.

b) Viel zu kleine Δ (etwa $= 1/2$ g) liefern: Methylalkohol (35) und Propionsäure (34), bekannt als kryoskopisch und ebullioskopisch anomal, ferner *P*-Aldehyd (31), *O*-Ameisenäther (30), Methylbenzoat (14). Acetessigester (27) zeigt schwächeren Unterschied und noch geringeren Bromoform (18) bez. das betr. Δ gegenüber g.

c) Stark über letzteres hinauswachsende Δ treten aber auf bei: *N*-Hexan (Dipropyl) (20) und den methylierten Benzolen (23—25). Namentlich bei letzteren ist die Übereinstimmung ihrer Konstitution mit der des Thymols unzweifelhaft größer als bei den übrigen Substanzen der Tabelle.

Tabelle II.

Gel. Substanz	p	n_{20}	$\vartheta_0 - \vartheta_1$	$\Delta_0 - \Delta_1$	Δ_{20}	g
15. Methylenchlorid (1,3370) $20^0/4^0$	6,45	0,705	20,00/25,00	7,7 —7,5	7,7	6,45
16. Chloroform	5,30	0,418	20,00/30,00	3,88—3,89	3,88	3,77
	5,49	0,432	„ / „	3,90—3,93	3,90	3,91
	13,7	0,970	„ / „	9,5 —9,2	9,5	9,75
17. Chlorkohlenst. (Tetra)	7,01	0,426	20,00/25,00	3,32—3,39	3,32	3,87
	7,42	0,449	„ /30,00	3,65—3,64	3,65	4,10
18. Bromoform	7,04	0,265	20,00/25,00	1,62—1,63	1,62	2,36
	9,55	0,356	„ / „	2,07—1,98	2,07	3,21
19. Äthylenchlorid (1,2547) $20^0/4^0$	4,49	0,429	20,00/25,00	4,58—4,61	4,58	3,86
	6,06	0,569	„ / „	6,07—6,07	6,07	5,20
20. Hexan	(*v*) 3,53	0,384	20,00/25,00	4,21 – 4,24	? 4,21	3,49
aus Petrol.	4,79	0,509	„ /30,00	7,48—7,55	7,48	4,74
synth. Norm.	4,38	0,466	„ / „	7,76—7,86	7,76	4,33
21. Cyklohexan (0,7782) $20^0/4^0$	3,33	0,372	20,00/25,00	3,27—3,26	3,27	3,37
	3,89	0,431	„ /30,00	3,65—3,65	3,65	3,94
22. Benzol	3,55	0,429	20,00/25,00	4,58—4,61	4,58	3,87
	4,79	0,568	„ / „	6,27—6,29	6,27	5,22
	(*p*) 8,27		25,00/40,00	9,92 – 9,79		9,01
23. Toluol	3,94	0,398	23,33/29,21	5,09—5,02	5,13	3,63
	5,48	0,544	19,88/30,00	7,09—6,91	7,09	5,06
24. *P*-Xylol	4,71	0,413	20,00/25,00	5,71—5,71	5,71	3,78
25. Mesithylen	8,16	0,609	20,00/30,00	7,00—7,06	7,00	5,78
26. *Di*-Äthyl-Keton	4,05	0,438	20,00/25,00	3,67—3,59	3,67	4,00
	(*v*) 5,76	0,618	„ / „	5,17—5,09	5,17	5,69
27. Acet-Essigs.-Ester	(*v*) 4,44	0,310	20,00/25,00	1,73—1,30	1,73	2,90
	6,20	0,440	„ / „	2,44—2,29	2,44	4,05
28. Nitrobenzol	7,74	0,578	15,13/26,30	4,34—3,61	4,07	5,35
	15,42	1,09	13,45/32,79	8,93—8,20	8,72	10,66
29. *Di*-Äthyläther	(*v*) 2,39	0,306	20,00/25,00	2,20—2,19	2,20	2,75
	5,28	0,652	„ / „	5,23—5,13	5,23	6,06
30. *O*-Ameisens.-Äthyläther	(*v*) 6,29	0,389	20,00/25,00	1,73—1,67	1,73	3,61
	8,28	0,509	„ / „	2,65—2,42	2,65	4,77
31. *P*-Aldehyd	4,48	0,330	20,00		1,16	3,02
32. Pyridin	6,00	0,709	20,00		÷0,80	6,46
	6,66	0,771	„		÷0,88	7,17
33. Piperidin	7,73	0,823	20,00		÷6,62	7,73
34. Propionsäure	7,49	0,919	20,00		4,20	8,60
35. Methylalkohol	7,12	2,01	20,00		8,13	18,9

Die noch ungenannten Abweichungen erscheinen gegenüber den eben aufgezählten weniger bedeutend und dürften für die Anfangsglieder der nicht unter c fallenden Körperklassen am größten sein.

Experimentelle Ermittelungen von g ließen nur am *O*-Ameisenäther Anzeichen von Unregelmäßigkeit bemerken, nichts Sicheres diesbez. aber bei Pyridin, *P*-Aldehyd, Methylbenzoat, Bromoform, Acetessigester, *P*-Xylol.

Es sind also die chemisch wirksamsten Stoffe, d. h. Basen, Säuren, Aldehyde, Alkohole, welche die Δ am stärksten beeinflussen, neben anscheinend solchen, bei welchen die eigene Molekel mit derjenigen des aufnehmenden Mittels ähnlichen Bau besitzt.

4. Letzteres trifft am wenigsten bei Cyklohexan (21) zu. Dieses und Chloroform (16) haben tatsächlich, z. T. noch im Bereich der Fehlergrenzen und unabhängig von dem Versuchs-ϑ (s. 1), $\Delta = g$. Es gilt daher entsprechend (bei ziemlich engem Intervall von ϑ):

$$\eta_{\text{Lös.}} = f(\vartheta + \Delta) = f(\vartheta + g), \qquad (1)$$

wenn für das oft genannte unterkühlte Phenol als Lösungsmittel $\eta = f(\vartheta)$ bekannt ist. Gleichung (1) stellt den einfachsten zu erwartenden Fall vor (s. l. c.). Der Vergleich der Δ verschiedener Verbindungen ist hier von ϑ unabhängig.

Für gewisse höher molekulare Fettsäureester findet das Gleichwerden mit g der zu geringeren Gehalten gehörigen Δ nur bei einem bestimmten ϑ statt (s. 1), welches man zu 20^0 annehmen kann, wenn es sich um Nr. 2, 5, 8, 11, 12, 13 der Tabelle handelt. Der Quotient Δ_{20}/Δ_{30} weicht für diese Körper nur wenig von der

Einheit ab und bleibt nahe konstant. Dies konnte auf das Bestehen einer allgemeinen Gleichung für dieselben hindeuten:

$$\eta_{\text{Lös.}} = f(\vartheta + \Delta), \qquad (2)$$

in welcher $\Delta = \varphi(\vartheta, n)$, ferner $n = p/\text{Mol.-Gew.}$ und $\varphi(\vartheta, n)$ bei 20^0 entweder nahe oder genau den Wert von g erreicht unter erwähnten Bedingungen. Auf Grund von (2) sollten äquimolare Konzentrationen, bei demselben ϑ bereitet, unabhängig von letzterem gleiches Δ und identische innere Reibung aufweisen. Dies bestätigte sich leidlich an 0,43 mol. Lösungen i. Lit. bei 20^0, 30^0 und 35^0. Auf dem Zähigkeitsgebiet gibt es also doch unter Umständen recht regelmäßige Verhältnisse.

Es liegen schließlich auch Beziehungen der Δ zu anderen Erscheinungen, u. a. der Kristallisationsgeschwindigkeit vor.

Leipzig, Physik.-chem. Institut.

(Eingegangen 5. August 1906.)

Berichtigung.

In meiner Abhandlung über Farbenerscheinungen bei fließenden Kristallen, diese Zeitschr. **7**, 578, 1906, sind mehrere Druckfehler stehen geblieben, da mir die Korrektursendung wegen längerer Abwesenheit von Karlsruhe zu spät zukam. Beispielsweise soll auf Seite 581, Zeile 29 von oben rechts statt „einem Präparat" stehen „reinem Präparat". Der Leser wird sich diese kleinen Fehler selbst korrigieren können.

O. Lehmann.

Briefkasten.

In seinem Aufsatze „Ist der Staub in der Atmosphäre geladen?", schreibt Herr George C. Simpson (diese Zeitschr. **7**, 522, 1906): „Andererseits habe ich bei vielen Physikern die Ansicht verbreitet gefunden, daß sich der Staub leichter auf einen negativ geladenen Draht absetzt, als auf einen positiv geladenen", eine Behauptung, die zu lesen auch ich Gelegenheit hatte.

Nun beobachte ich aber seit Jahren täglich eine Erscheinung, die der obigen Meinung aufs entschiedenste zu widersprechen scheint. In meinem Arbeitszimmer ist eine Influenzmaschine täglich stundenlang tätig. Sie ist in einem Staubkasten eingeschlossen, aus dem die beiden Pole — 2 vergoldete Messingkugeln von 67 mm Durchmesser, 30 cm voneinander entfernt — hervorragen. Aus Gründen, die hier von keinem Interesse sind, ist es mir von Wichtigkeit den +, resp. —Pol stets auf derselben Kugel zu haben. Dieser Forderung tat die Maschine zufällig von Anfang an in hohem Grade genug, indem umgekehrte Elektrisation nur selten und auf kurze Zeit auftrat, seitdem ich aber meinen Umlader (diese Zeitschr. **4**, 708, 1903) konstruiert habe, sind auch diese zufälligen Umladungen zu minimaler Dauer reduziert.

Obwohl die beiden Polkugeln immer gleichzeitig abgewischt, oder sonst geputzt werden, erscheint sehr bald nach der Reinigung die eine Kugel immer viel dunkler und weniger glänzend als die andere, und wird nach einigen Tagen dunkelbräunlich, während die andere vollständig blank ist. Daß es sich hier um keinerlei Oxydationsvorgänge handelt, und die Erscheinung nur von der Ablagerung von Staub und Rußteilchen (letztere aus dem im Zimmer reichlich vorhandenen Tabaksrauche), überzeugt man sich, indem man die dunkle Kugel mit einem feuchten Lappen abwischt.

Es ist aber die positive Kugel, die rascher und in höherem Grade dunkel wird, d. h. mehr Staub und Ruß aus der Luft aufnimmt.

St. Petersburg, den 9. August 1906.

J. R. Januszkiewicz.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

An der Universität Wien habilitierte sich der frühere o. Professor der Chemie an der Universität Czernowitz Dr. Richard Přibram für Chemie.

Der Privatdozent für Physik an der Universität Göttingen Dr. Emil Bose wurde unter Verleihung des Professortitels zum Dozenten für physikalische Chemie und Elektrochemie an der Technischen Hochschule in Danzig, der Privatdozent für Physik an der Universität Heidelberg Dr. Alfred Kalähne zum Dozenten für Physik an der Technischen Hochschule in Danzig mit gleichzeitiger Ernennung zum a. o. Professor, der a. o. Professor der Mathematik an der Universität Würzburg Dr. Georg Rost zum o. Professor, der a. o. Professor für Physik und Geodäsie an der Forstlichen Hochschule in Aschaffenburg Dr. Robert Geigel zum o. Professor, der Privatdozent der Chemie an der Universität Freiburg Dr. Adolf Windaus zum a. o. Professor ernannt.

Berufen wurde der a. o. Professor für Chemie an der Universität Leipzig Dr. Max Bodenstein in gleicher Eigenschaft an die Universität Berlin (als Nachfolger von Professor Dr. Johannes Jahn), der erste Leiter der Samoa-Warte Dr. Otto Tetens als Assistent der Sternwarte in Kiel.

Den Mitgliedern der physikalisch-technischen Reichsanstalt Professor Dr. F. Mylius und Professor Dr. H. Wiebe wurde der Charakter als Geh. Regierungsrat, dem im Ruhestande befindlichen Professor der Physik der Technischen Hochschule Dresden Dr. August Toepler der Titel und Rang als Geheimer Rat, den Professoren der Astronomie an der Universität Heidelberg Dr. Wilhelm Valentiner und Dr. Max Wolf der Titel eines Geheimen Hofrates verliehen.

Am 22. August starb der Professor der Geodäsie von der Technischen Hochschule in Hannover Dr. Karl Reinhertz, am 6. September der o. Professor der theoretischen Physik an der Universität Wien Dr. Ludwig Boltzmann.

Gesuche.

Junge Schwedin, Cand. phil.

wünscht zur weiteren Ausbildung in einem **physikalischen Laboratorium** oder in einer **Sternwarte** zu arbeiten. Beherrscht Deutsch, Englisch und Französisch.

Gefl. Antworten an **„B.S."** Nordiska annonsbyrån, Gothenburg, Schweden.

Promovierter Physiker,

der bereits 1½ Jahre als Assistent an Universitätslaborator. tätig war, **sucht** an Hand bester Zeugnisse und Empfehlungen **Assistentenstelle.** Gefl. Zuschriften erbeten unter **No. 228** an den Verlag dieser Zeitschrift.

Für die Redaktion verantwortlich Professor Dr. Emil Bose in Göttingen — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.